

RIKASTETTU TODELLISUUS LIIKEANALYYSIN TULOSTEN ESITTÄMISEN KÄYTTÖLIITTYMÄNÄ

Sami Vierola

Opinnäytetyö
Toukokuu 2010

Mediatekniikka
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) VIEROLA, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 18.05.2010
	Sivumäärä 73	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi RIKASTETTU TODELLISUUS LIIKEANALYYSIN TULOSTEN ESITTÄMISEN KÄYTTÖLIITTYMÄNÄ		
Koulutusohjelma Mediatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) MANNINEN, Pasi		
Toimeksiantaja(t) VIITASALO, Jukka - Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla perinteisen hiireen ja näppäimistöön perustuvan käyttöliittymän ja videokameraan perustuvan käyttöliittymän eroja. Tavoitteena oli löytää helppokäyttöinen käyttöliittymä urheilusuurituksen liikeanalyysin tulosten esittämiseksi. Samalla tutkittiin Rikastetuksi Todellisuudeksi kutsutun tekniikan hyötyjä, haittoja ja tekniikan kypsyttää. Opinnäytetyössä tutkittiin myös liikeanalyysidatan muuntamista 3D-malleiksi.</p> <p>Rikastettuun Todellisuuteen tutustuttiin esimerkein, teknisin selostein sekä tulevaisuuden visioiden ja historian avulla. Lisäksi opinnäytetyössä käytiin läpi erilaisia tekniikoita Rikastetun Todellisuuden sovellusten luomiseksi ja esittämiseksi. Konkreettisenä tuloksena syntyi ActionScript-ohjelma, jolla liikeanalyysin numeerinen data voidaan esittää animoituna 3D-hahmona. Sovelluksessa toteutettiin sekä perinteinen että Rikastetun Todellisuuden mukainen käyttöliittymä.</p> <p>Tekniikkaan tutustumisen ja pienimuotoisen testiryhmän arvioiden perusteella todettiin, ettei Rikastettua Todellisuutta käyttävä käyttöliittymä ole toimintavarmuudeltaan perinteisen käyttöliittymän tasoinen. Tekniikassa on kuitenkin potentiaalia tulla osaksi ihmisten jokapäiväistä elämää, kunhan päätelaitteet ja ohjelmistot kehittyvät. Prosessi, jossa liikeanalyysin data muunnetaan 3D-malliksi, saatiin toimivaksi, mutta valmiiden mallien tarkkuudessa on vielä toivomisen varaa. Jatkokehitystä varten ehdotettiin mahdollisia ratkaisuja.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Rikastettu Todellisuus, Lisätty Todellisuus, Augmented Reality, Liikeanalyysi, Motion capture, 3D-mallinnus, Käyttöliittymä, FLARToolkit, FLARManager, ActionScript, Papervision		
Muut tiedot		



Author(s) VIEROLA, Sami	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 18.05.2010
	Pages 73	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title AUGMENTED REALITY AS A USER INTERFACE FOR VIEWING RESULTS OF MOTION ANALYSIS		
Degree Programme Media Engineering		
Tutor(s) MANNINEN, Pasi		
Assigned by VIITASALO, Jukka - KIHU - Research Institute for Olympic Sports		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this study was to compare differences between the traditional mouse and keyboard-based user interface with video-based user interface. The aim was to find an easy to use interface for viewing results of motion analysis. Advantages, disadvantages and technical maturity of a technique called Augmented Reality were also studied. The thesis also examined the workflow for converting motion analysis data to 3D-models.</p> <p>Augmented Reality was exposed with examples, technical aspects, history and future visions. The thesis also looked for the different techniques for creating and presenting Augmented Reality applications. A concrete result was ActionScript program for displaying motion analysis data as an animated 3D-character. The application has an Augmented Reality user interface as well as a traditional user interface.</p> <p>After getting acquainted with the technology and carrying out a small-scale user test, the conclusion was that Augmented Reality user interface is not as reliable as a traditional user interface. However, this technology has the potential to be part of people's everyday lives, as long as the hardware and software evolve. The workflow for converting motion analysis data was found, but it is not optimal, due to inaccurate 3D-models. There were also suggestions for future development.</p>		
Keywords Augmented Reality, Added Reality, Motion analysis, Motion capture, 3D-modelling, User interface, FLARToolkit, FLARManager, ActionScript, Papervision		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

SANASTO JA KÄYTETYT TERMIT	4
1 EI LISÄTTY VAAN RIKASTETTU	8
2 RIKASTETTU TODELLISUUS	9
2.1 MITÄ ON RIKASTETTU TODELLISUUS?	9
2.1.1 Tekniikan tavoitteet	9
2.1.2 Historia	11
2.1.3 Termin määrittely	13
2.2 RIKASTETUN TODELLISUUDEN ESIMERKKEJÄ	14
2.2.1 Tekijöitä	14
2.2.2 Toimivia ratkaisuja	15
3 TYÖKALUT JA TEKNIikka	23
3.1 ESITYSTAVAT	23
3.1.1 HMD	23
3.1.2 Projektio	25
3.1.3 Magic Lens ja Magic Mirror	27
3.2 TEKNIikat	28
3.2.1 2D-matriisimarkkeri	28
3.2.2 Markkeriton tekniikka	30
3.2.3 GPS, gyroskooppi ja kompassi	31
3.3 RIKASTETUN TODELLISUUDEN TODENMUKAISUUS	31
3.4 FLARTOOLKIT	33
3.4.1 Perusteet	33
3.4.2 Toiminta vaiheittain	34
3.4.3 Markkerit	38
3.4.4 Suorituskyky ja tarkkuus	40

4 TULOSTEN ESITYSSOVELLUS	43
4.1 SOVELLUKSEN VAATIMUKSET	43
4.2 LIIKEANALYYSI	45
4.2.1 Yleistä liikeanalyysistä.....	45
4.2.2 Ariel Performance Analysis System.....	46
4.2.3 Liikeanalyysin tiedostomuodot.....	47
4.3 3DS MAX	48
4.3.1 Mallin tarpeet ja rajoitteet	48
4.3.2 Liikedatan sovitus ja analysointi	50
4.3.3 Collada.....	53
4.4 ADOBE FLASH.....	54
4.4.1 Yleistä ActionScriptistä.....	54
4.4.2 Papervision3D.....	54
4.4.3 Flarmanager.....	55
5 TULOKSET	58
6 POHDINTA	62
LÄHTEET	65
LIITTEET	71
LIITE 1. TOTEUTETUN SOVELLUKSEN ASETUKSET	71
LIITE 2. ARVIOINTILOMAKE	72
LIITE 3. PISTEJAKAUMA	73

KUVIOT

KUVIO 1. Morton Heilingin kehittämä Sensorama.....	11
KUVIO 2. Ivan Sutherlandin ja Bob Sproullin HMD-laite.....	12
KUVIO 3. Paul Milgramin ja Fumio Kishinon todellisuus–virtuaalisuus-jatkumo.....	14
KUVIO 4. Billy-hyllyn juhluvuohta juhlistettiin Rikastetun Todellisuuden avulla.....	16
KUVIO 5. Zugaran kehittämässä sovelluksessa käytetään liikkeentunnistusta.....	17
KUVIO 6. Virtuaaliseen peiliin katsottaessa nenällä voi olla aurinkolasit.....	18
KUVIO 7. Mobilizy GmbH:n RT-tuotteet on suunniteltu mobiililaitteille.....	19
KUVIO 8. BMW-tehtaan tulevaisuus saattaa olla rikastettu.....	20
KUVIO 9. Myös perinteiset Lego-palikat luottavat Rikastettuun Todellisuuteen.....	21
KUVIO 10. Virtuaaliset torakat puistattavat siinä missä oikeatkin.....	22

KUVIO 11. Jalot tarkoitusperät omaavaa tekniikkaa tuotteistetaan surutta.....	23
KUVIO 12. Näyttölaseista ja web-kamerasta saa nenää painavan RT-laitteen.....	25
KUVIO 13. SixthSense mahdollistaa käyttöliittymän heijastamisen jopa käteen.....	26
KUVIO 14. Mirror-metafora tarvitsee käyttäjän eteen sijoitetun kameran.....	28
KUVIO 15. L-kirjaimen muotoinen markkeri on yksinkertainen ja toimiva.....	29
KUVIO 16. Todellisuutta voidaan huonontaa, mikäli 3D-objekti ei ole laadukas.....	33
KUVIO 17. FLARToolkitin sukupuu.....	34
KUVIO 18. Kuvan kaappaus ja binarisointi.....	35
KUVIO 19. Alueiden värjäys sekä reunojen etsintä.....	36
KUVIO 20. Kandidaattien vertaus muistin verrokki-markkeriin.....	36
KUVIO 21. Korkein confidence-arvo määrittää kandidaateista markkerin.....	37
KUVIO 22. 3D-malli asetellaan FLARToolkitin raporttoimaan paikkaan.....	38
KUVIO 23. Markkerin koon vaikutus tunnistusetäisyyteen.....	41
KUVIO 24. Markkerin kulman vaikutus sijaintivirheeseen eri etäisyyksillä.....	41
KUVIO 25. Markkerin kulman ja etäisyyden vaikutus kulmavirheeseen.....	42
KUVIO 26. Liikeanalyysi aloitetaan kalibroimalla analyysialue.....	47
KUVIO 27. Kaksijalkainen Biped-luuranko nopeuttaa mallinnusta.....	49
KUVIO 28. Alkuperäisen videon vertaus Biped-luurankoon.....	52
KUVIO 29. Perinteisellä käyttöliittymällä toteutettu analyysin esityssovellus.....	59
KUVIO 30. Rikastetun Todellisuuden avulla toteutettu analyysin esityssovellus.....	60

SANASTO JA KÄYTETYT TERMIT

ActionScript

ECMAScript-standardiin perustuva ohjelmointikieli.

ASCII-tiedosto

ASCII-tiedosto on tiedosto, jonka sisältö koostuu englannin kielen kirjaimista, numeroista ja välimerkeistä.

Bugi

Tietokoneohjelman virhetilanne, joka estää ohjelman normaalin suorituksen.

Exporttaus

3D-mallinnuksen kontekstissa exporttaus tarkoittaa 3D-mallin muuntamista toiseen tiedostomuotoon.

Facebook

Facebook on yhteisöpalvelu, jossa ihmiset esiintyvät yleisesti oikealla nimellään. Facebookin avulla voidaan jakaa ja lukea tilapäivityksiä, joista selviää mitä kavერი-ryhmään kuuluvat ihmiset tekevät tai ajattelevat.

FLARManager

FLARManager on ohjelmistokirjasto, joka muuttaa FLARToolkitin toimintaa lisäämällä siihen usean markkerin tunnistusominaisuuden.

FLARToolkit

FLARToolkit on ohjelmistokirjasto, jonka avulla voidaan luoda Rikastetun Todellisuuden sovelluksia ActionScript-ohjelmointikielellä.

GE

General Electric on suuri amerikkalainen monialayritys, jonka visioita uusiutuvista energialähteistä esitettiin Rikastetun Todellisuuden keinoin.

Google

Google Inc. on yhdysvaltalainen viestintäpalveluita tarjoava yhtiö. Hakukoneesta tunnettu yhtiö on levinnyt myös sähköisen viestinnän aloille.

GPL-lisenssi

GPL on tietokoneohjelmiin suuntautunut lisenssi, joka takaa käyttäjän vapauden muuttaa ja jakaa ohjelmaa. GPL-lisenssillä julkaistujen ohjelmien lähdekoodit tulee jakaa halukkaille.

GPS

Global Positioning System on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä, jota käytetään myös siviilien navigointisovelluksissa.

Gyroskooppi

Gyroskooppi on liiketunnistin, joka tunnistaa kiertoliikettä. Gyroskooppeja käytetään nykyään muun muassa matkapuhelimissa.

HMD

HMD on lyhennys sanoista head-mounted display. Termi tarkoittaa näyttölaitetta, jota pidetään päässä hatun tai silmälasien tavoin.

ISMAR

ISMAR on Rikastetulle Todellisuudelle omistettu vuosittainen konferenssi.

Komposiittikuva

Tässä opinnäytetyössä komposiittikuvalla tarkoitetaan käyttäjälle esitettävää kuvaa, joka on yhdistelmä reaaliaikaisesta videokuvasta sekä 3D-mallista.

Okluusio

3D-kontekstissa okluusio tarkoittaa näkymää, jossa useampi kohde peittää osan toisistaan siten, että lähimpänä katsojaa oleva kohde näkyy kokonaan taaempana sijaitsevien peittyessä lähempänä katsojaa olevan kohteen määrittämän alueen verran.

Open Source eli avoin lähdekoodi

Avoimen lähdekoodin ohjelmien tulee täyttää Open Source Iniativen määrittelemät vaatimukset. Ohjelmien tulee olla vapaasti saatavissa ja jaettavissa.

Papervision

Papervision on ActionScriptillä toteutettu 3D-moottori, joka mahdollistaa 3D-objektien käytön ActionScript-sovelluksissa.

PATAM

Parallel tracking and mapping on SLAM-tekniikan variantti, jota käytetään Rikastetun Todellisuuden sovelluksissa.

PDA

PDA on yleisnimitys pienistä mukana kuljetettavista tietokoneista.

Renderointi

3D-kontekstissa renderointi tarkoittaa lopullisen näkymäkuvan valmistusta. Renderoidessa 3D-mallista luodaan kaksiulotteinen kuva.

Rikastettu Todellisuus

Vapaamuotoinen suomennos englanninkielisestä termistä Augmented Reality. Tarkoittaa keinoitekoisten näkymien lisäämistä todelliseen maailmaan.

Saquoosha

Saquoosha on FLARToolkit-ohjelmistokirjaston alkuperäisen kehittäjän lempinimi.

SLAM

Simultaneous localization and mapping on tekniikka, joka tarkkailee ympäristöä ja luo siitä kartan, jonka avulla tietokoneohjattu autonominen järjestelmä voi edetä.

TaroTaro

TaroTaro on japanilaisen ohjelmistokehittäjän lempinimi. TaroTaro on luonut muun muassa Rikastetussa Todellisuudessa käytettävien seurantamarkkereiden luontiin sopivan online-sovelluksen.

TDSI

TDSI on lyhennys sanoista Turbo Diesel Sport Injection. TDSI on tietokoneohjelma, jonka avulla voidaan optimoida ActionScript-ohjelmia.

Transhumanismi

Transhumanismisen ajatussuuntauksen kannattajat uskovat ihmisten pystyvän laajentamaan ihmisyyttä tieteellisen ja teknisen kehityksen avulla. Suuntauksen päämääränä on teknologian ja ihmisruumiin yhdistäminen.

VTT

Valtion teknillinen tutkimuskeskus on suomalainen teknologia- ja tutkimuspalvelujen tuottaja. VTT kehittää myös ALVAR-koodikirjastoa, joka käyttää Rikastetun Todellisuuden tekniikkaa.

Wikipedia

Wikipedia on internetissä sijaitseva ilmainen sanakirja, jonka sisältö on vapaaehtoisten kirjoittamaa. Wikipedia sisältää miljoonia artikkeleja 264 kielellä.

1 EI LISÄTTY VAAN RIKASTETTU

”Lisätty Todellisuus on yleisin suomalainen käännös englanninkielisestä termistä augmented reality” (Rantanen 2009). Lisätty, tehostettu, laajennettu tai vahvistettu eivät riitä kuvaamaan kyseisen tekniikan todellista luonnetta. Augmented Reality tarkoittaa vapaasti käännettynä todellisen ja virtuaalisen yhdistämistä. Yhdistäminen tehdään lisäämällä keinotekoisia elementtejä todellisuuden päälle, mutta ei pelkästään lisäämisen vuoksi, vaan toimella täytyy olla myös tarkoitus. Todellisuuteen tuodaan jotain, mikä siitä puuttuu ja mitä siihen tarvitaan.

Todellisuus on ihmisyyden käyttöliittymä, jota käytetään myös emotionaalisella tasolla. Laajennettu tai vahvistettu eivät riitä kuvaamaan tunnetta, joka tekniikan avulla pyritään saavuttamaan. Termi Rikastettu Todellisuus sisältää kaiken tekniikan ansaitseman kunnioituksen. Lisäksi se kuulostaa hyvälle, mutta mikä tärkeintä, siinä kiteytyy lisääminen lisäarvon vuoksi. Opinnäytetyön sivuilla englanninkielinen termi Augmented Reality on suomennettu Rikastetuksi Todellisuudeksi ja lyhenneä käytetään kirjainyhdistelmää RT. Joidenkin esiteltyjen sovellusten nimissä esiintyy lyhenne AR, joka RT:n tavoin viittaa Rikastettuun Todellisuuteen.

Opinnäytetyössä tutkittiin Rikastettua Todellisuutta käyttöliittymänä vertaamalla sitä perinteiseen hiiri ja näppäimistö käyttöliittymään. Lisäksi tarkasteltiin tekniikan kypsyttä, etuja ja ongelmia. Opinnäytetyön tilaajana toimi Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus eli KIHU. KIHUn tavoitteena on edistää suomalaista kilpa- ja huippu-urheilua, pääasiallisena tehtävänään urheiluun liittyvä tutkimus- ja kehitystyö. Opinnäytetyön konkreettisena tuloksena oli internetselaimessa toimiva ActionScript-ohjelma, jonka avulla voidaan tarkastella urheilusuorituksen liikeanalyysiä dataa animoituina 3D-hahmoina. Lähdemateriaalina käytettävät liikeanalyysit on tehty APAS-tietokoneohjelmalla, joka ei tuota 3D-mallinnusohjelmien kanssa yhteensopivaa liikedataa, joten tutkimus sivuaa myös datan yhteensopivaksi muuttamista. Pääpaino pysyy kuitenkin Rikastetussa Todellisuudessa ja opinnäytetyötä voidaan käyttää tekniikan esittelynä. Todellisuutta voidaan rikastaa myös muita

aisteja stimuloimalla, mutta opinnäytetyön tavoitteiden vuoksi pitäydyttiin visuaalisissa ärsykeissä. Lisäksi opinnäytetyö keskittyi pääasiassa 3D-objektien todellisuuden lisäämiseen, vaikka 2D-rikastukset ovat aivan yhtä mahdollisia. 2D-rikastukset esiintyvät todellisuusselaimia käsittelevässä luvussa 3.2.3. Opinnäytetyö toimii kokonaisuutena, minkä vuoksi tekniikan mahdollisuuksien ja rajoitteiden ymmärtäminen vaatii lähes jokaisen sivun lukemista ja sisäistämistä.

2 RIKASTETTU TODELLISUUS

2.1 Mitä on Rikastettu Todellisuus?

2.1.1 Tekniikan tavoitteet

Rikastettu Todellisuus on keväällä 2010 muoti-ilmiö. Gartner-tutkimusyhtiö listasi Rikastetun Todellisuuden yhdeksi kymmenestä mielenkiintoisesta uudesta teknologiasta vuosille 2008–2012 (Gartner Inc. 2008). RT ei ole uusi tekniikka, mutta tavallisille kuluttajille se on jotakin ennennäkemätöntä, mutta kuitenkin tarpeeksi helppoa omaksuttavaa. Varsinkin painetut lehdet ovat innostuneet tekniikan tuomasta mahdollisuudesta, jolla digitaalinen sisältö voidaan liittää osaksi lehden sivuja. Ensimmäinen Rikastetulla Todellisuudella maustettu lehti oli vuoden 2009 keuhällä ilmestynyt Popular Science, jonka kannesta nousi GE-yhtiön uusiutuvia energiamuotoja esittelevä mainos (General Electric 2009). Hieman korkeammalle rimaa nosti Esquire-lehti joulukuun 2009 numerossaan. Esquiren sivuilta kohosi vuorokaudenajan mukaan vaihtuva video, jossa kerrottiin muun muassa vitsejä. Päivällä vitsit olivat koko perheelle sopivia, mutta illalla hieman roisimpia. (Esquire 2009.)

Suomalais–kiinalaiselle Dibitassut-animaatiosarjalle on myös luotu yksinkertainen AR-sovellus, joka herättää 3D-mallinnetut koiranpennut eloon. Ohjauskuvio eli markkeri painettiin Katso- ja Seiska-lehtiin keväällä 2010. Dibitassujen sovellus käyttää VTT:n kehittämää ALVAR-koodikirjastoa, joka tukee 2D-matriisimarkkeritekniikkaa, mutta tulevaisuudessa myös useita markkerittomia tekniikoita. (Telvis 2010.) Muutama vuosi sitten VTT, eli Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tutki Valt-

ran traktorin hydraulikkablokin kokoamista AR-ohjeita käyttäen. VTT:n esittelyvideossa kokoamistyössä tarvittavat osat leijuvat työohjeiden kera ilmassa. 3D-mallit liikkuvat oikeille paikoilleen, jolloin mekaanikon tarvitsee ainoastaan toistaa osan liikerata ja oikea asennuspaikka löytyy. (Sääski, Salonen, Hakkarainen, Siltanen, Woodward & Lempiäinen 2008.) Markkeritonta-tekniikkaa, jota syksyllä 2010 ilmestyyvä Dibitassut-kirja tulee luultavasti käyttämään, VTT esitteli vuoden 2009 ISMAR-konferenssissa (Dibitassut 2010). ISMAR on Rikastettuun Todellisuuteen sekä vastaaviin tekniikoihin keskittynyt vuosittainen tapahtuma.

Mainokset ovat vahvasti seuraamassa aikakauslehtien esimerkkiä Rikastetun Todellisuuden käyttäjinä. Erityisesti arvostettujen brändien näyteikkunat ovat toimineet Rikastetun Todellisuuden esittelyareenoina, mutta myös painetut esitteet ovat tekniikan huomanneet. Internetistä löytyy myös japanilaisia virtuaalittöystäviä, mutta muuten aikuisviihdeteollisuus ei ole vielä Rikastettua Todellisuutta juurikaan hyödyntänyt, vaikka se yleensä uuteen tekniikkaan hanakasti tarttuukin.

Rikastetun Todellisuuden alkuperäinen ja hieman edellisiä jalompi tarkoitus löytyy kuitenkin käyttöliittymäsuunnittelusta. Tietokoneet ovat nykyään suuri osa ihmisten elämää, mutta sauma todellisen ja digitaalisen maailman välillä ei ole kovin tiivis. Vaikka tietokoneiden suorituskyky on kasvanut, ovat käyttöliittymät yhä tasolla, jolla ihmisen täytyy sovittaa toimintansa tietokoneen ymmärtämään muotoon. Rikastetun Todellisuuden vahvin hyöty löytyy mahdollisuudesta luoda käyttöliittymä, joka on ihmisläheinen. Monimutkaiset tietokoneohjelmat, joiden hallintaan tarvitaan normaalisti useiden syöttölaitteiden yhtäaikaista käyttöä, saattavat saada Rikastetusta Todellisuudesta yksinkertaisen käyttöliittymän. (Barakonyi 2006, 2.) Valitettavasti kovin monia suurelle yleisölle tarkoitettuja hyötysovelluksia ei vielä ole olemassa. Muutamia toimivia esimerkkejä esitellään opinnäytetyön sivuilla myöhemmin.

2.1.2 Historia

1950-luvulla syntyi ajatus keinotekoisesta maailmasta, virtuaalitodellisuudesta. Ajatuksen isä ei ollut tiedemies tai insinööri, vaan elokuvaaja Morton Heiling, joka rakensi elokuvaa, stereoääntä, tuoksua, tuulta, värinää sekä liikettä yhdistävän mekaanisen laitteen, Sensoraman. Kuviossa 1 kuvattu laite oli tuon ajan tekniikaksi hyvin edistynyt, mutta rahoitusongelmat kaatoivat kunnianhimoisen hankkeen. (Tate 1996.)

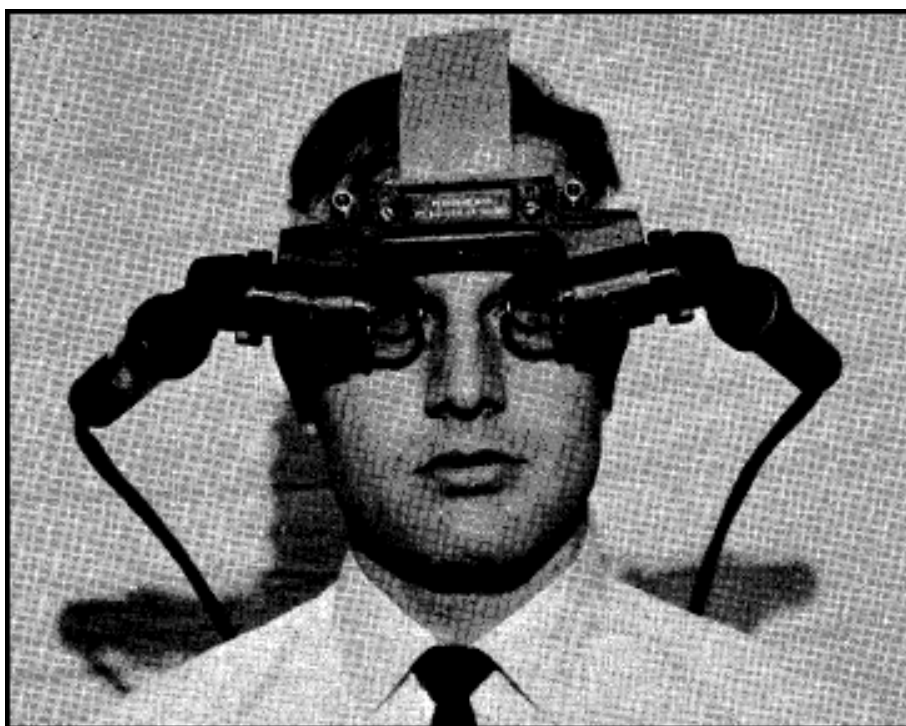


KUVIO 1. Morton Heilingin kehittämä Sensorama (Grau 2007). Sensorama oli edistysellinen laite, jota ei kuitenkaan osattu markkinoida oikein.

Heilingin jalanjäljissä kulki Ivan Sutherland, joka määritteli täydellisen näyttölaitteen. Laite olisi huone, jossa tietokone voisi vaikuttaa materian olemukseen. Kaikki

näytettävät kuvat olisivat kuin todellisia ja niitä voisi koskettaa. Sutherlandin hahmottelemaa täydellistä näyttöä ei tuolloin eikä vielä nykypäivänäkään ole rakennettu, paitsi elokuvissa. Kuvitteellisista Star Trek tarinoista tutulla holodeckillä virtuaalinen tuoli on niin hyvä, että sillä voi istua. (Tate 1996.)

Ivan Sutherlandin kehittäessä virtuaalitodellisuutta sivutuotteena syntyi myös Rikastettu Todellisuus. Sutherland ja kollegansa Bob Sproull kehittivät päähän puettavan näyttölaitteen, joka yhdisti todellisen maailman ja yksinkertaisen tietokonegrafiikan (ks. kuvio 2). Itse termi Augmented Reality syntyi vuonna 1992 Tom Caudellin työskennellessä Boeing-yhtiössä. Tuolloin virtuaalisen ja todellisen yhdistävää tekniikkaa käytettiin helpottamaan monimutkaisia kaapelointitöitä (Chen 2009).

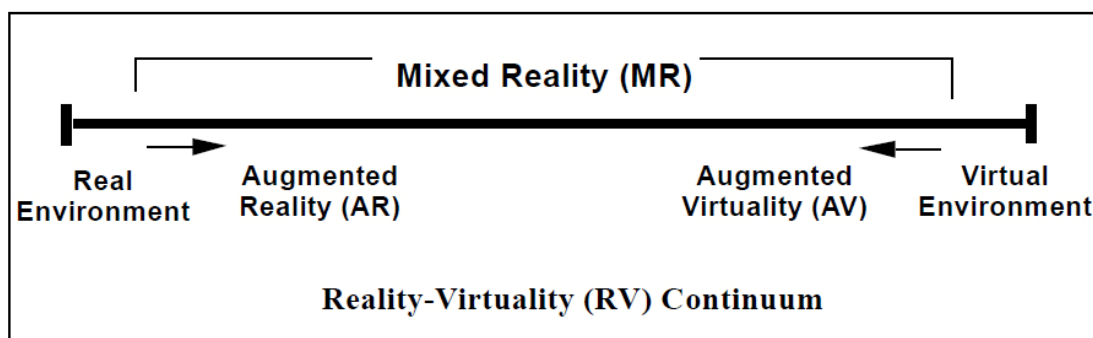


KUVIO 2. Ivan Sutherlandin ja Bob Sproullin HMD-laite (Sutherland 1965). Yksinkertaisen tietokonegrafiikan ja todellisuuden yhdistänyt laite seurasi käyttäjänsä pään liikkeitä.

Vuonna 1999 Rikastettu Todellisuus sai uutta nostetta Hirokazu Katon kehittäessä ARToolkit-ohjelmiston, joka mahdollisti RT-ohjelmien edullisen ja helpon kehittämisen. ARToolkit julkaistiin GPL-lisenssillä ja se saavutti suuren suosion. C-kielinen ARToolkit on käännetty useille ohjelmointikielille, muun muassa ActionScriptille, JavaScriptille ja Silverlightille. (HIT Lab 2007a.) Rikastetulle Todellisuudelle omistettuja konferensseja on pidetty vuodesta 1998 lähtien nimillä IWAR (International Workshop on Augmented Reality), ISMR (International Symposium on Mixed Reality), ISAR (International Symposium on Augmented Reality) ja ISMAR (International Symposium on Mixed and Augmented Reality) (ISMAR 2010).

2.1.3 Termin määrittely

Vaikka Rikastettu Todellisuus on jo melko vanha tekniikka, ei sille löydy yksiselitteistä määrittelyä. Tällä hetkellä käytössä on kaksi hieman eri tavoin asian näkevää määrittelyä, joista vanhempi, kuviossa 3 esitetty Paul Milgramin ja Fumio Kishinon hahmotelma, kuvaa Rikastetun Todellisuuden sekoitetun todellisuuden yhdeksi esitystavaksi. Rikastettu Todellisuus on jossakin virtuaalisuuden ja todellisuuden välimaastossa. Virtuaalitodellisuus käärii käyttäjän täysin synteettisen maailman sisään, kun taas Rikastetun Todellisuuden käyttäjä näkee todellisen maailman, johon on upotettu virtuaalisia elementtejä. Rikastetussa virtuaalisuudessa käyttäjä näkee synteettisen maailman, johon on upotettu todellisia elementtejä. (Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino 1994.)



KUVIO 3. Paul Milgramin ja Fumio Kishinon todellisuus–virtuaalisuus-jatkumo (Milgram ym. 1994). Mikäli kohde ei ole täysin todellinen eikä täysin virtuaalinen, se sijoittuu sekoitettuun todellisuuteen.

Rikastetun Todellisuuden alkuaikoina ainut tapa sen kokemiseen olivat HMD-silmikot, mutta teknisten mahdollisuuksien lisääntyessä termiä piti määritellä sallimaan myös muut esitystavat. Ronald Azuma määritteli termiin kolme kulmakiveä, jotka sallivat muut näyttölaitteet ja silti säilyttävät Rikastetun Todellisuuden luonteen. Azuman mukaan tekniikan tulee yhdistää virtuaalinen todelliseen ja sen tulee olla reaaliaikaisesti interaktiivinen, eli käyttäjän täytyy voida vaikuttaa tapahtumiin. Lisäksi lisättyjen kohteiden täytyy sijaita 3D-maailmassa. Vaikkakin opinnäytetyössä tyydytään ainoastaan lisäämään kohteita todellisuuteen, täytyy myös muistaa, että Rikastettu Todellisuus antaa mahdollisuuden myös todellisten kohteiden piilottamiseen. Tällöin 3D-objektit simuloivat näkymän taustaa ja peittävät poistettavat kohteet. (Azuma 1997.)

2.2 Rikastetun todellisuuden esimerkkejä

2.2.1 Tekijöitä

Rikastetulle Todellisuudelle omistautuneita tekijöitä on ollut jo vuosia, mutta vasta 2000-luvun lopulla yrityksiä on ilmestynyt ruuhkaksi asti. Tekijöitä on niin tutkimus- kuin myös kaupalliselta puolelta. Yksi tunnetuimmista tutkimukseen keskittyneistä toimijoista on Studierstube-projekti. Grazin yliopistossa Itävallassa toimiva Studierstube on keskittynyt etsimään toimivaa 3D-käyttöliittymää, joka toimisi

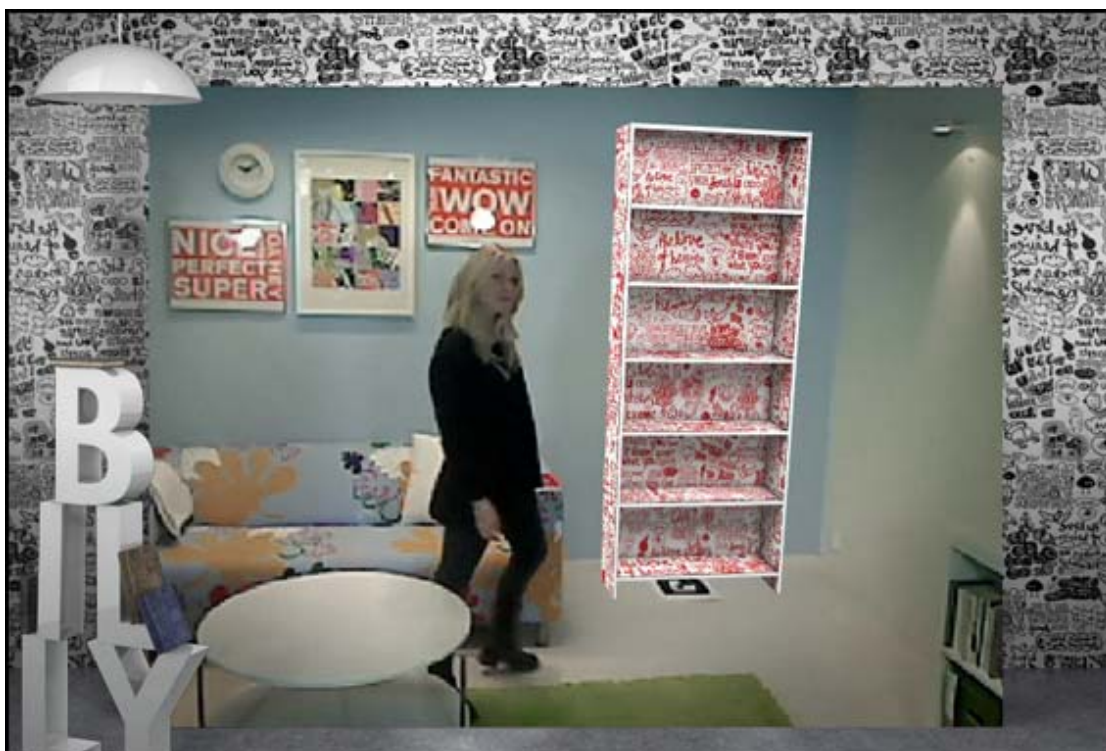
vähintään 2D-käyttöliittymien tasolla. Tutkimusprojektin lisäksi Studierstube on myös monipuolinen ohjelmistokirjasto, jota voidaan käyttää Rikastetun Todellisuuden sovellusten kehitykseen. (Schmalstieg, Fuhrmann, Hesina, Szalavári, Encarnação, Gervautz, & Purgathofer 2002.) ARToolworks on yksi maailman eniten käytetyn Rikastetun Todellisuuden työkalun, ARToolkitin, kehittäjistä. ARToolworks keskittyy pääasiassa tutkimustyöhön, mutta myös kaupallisiin ratkaisuihin. ARToolworksin vaikuttajiin kuuluu Rikastetun Todellisuuden tutkijoiden kärkinimiä, kuten Mark Billinghurst ja Hirokazu Kato. (ARToolworks 2007a.)

Lähes ainoastaan kaupallisiin sovelluksiin keskittyviä yrityksiä ovat Metaio ja Total Immersion. Molemmat toimijat ovat kehittäneet omia erittäin suorituskykyisiä ja toimivia ohjelmistojaan kymmenen vuoden ajan ja molempien asiakasreferensseistä löytyy satoja toteutuksia. Total Immersionin tekniikka on nimetty D'Fusion-tekniikaksi, kun taas Metaion taidonnäyte kulkee nimellä Unifeye. (Total Immersion 2010; Metaio GmbH 2010)

Suomessa Rikastettua Todellisuutta kehittävät muutamat mainostoimistot ja omaa ALVAR-tekniikkaansa kehittävä VTT. Monipuolisesta ja alati kehittyvästä ALVAR-ohjelmistokirjastosta on olemassa ilmainen ei-kaupallinen versio sekä kaupallisiin tarkoituksiin soveltuva lisenssi (ALVAR 2009).

2.2.2 Toimivia ratkaisuja

Huonekaluteollisuus on yksi parhaiten Rikastettua Todellisuutta hyödyntävä ala nyt ja tulevaisuudessa. 3D-mallit huonekaluista ovat yleensä valmiiksi olemassa, ja ne ovat suhteellisen yksinkertaisia. Lisäksi kuluttajilla on aito tarve nähdä harkitsemansa huonekalut oikeassa ympäristössä. Ruotsalainen huonekaluvalmistaja IKEA antoi asiakkailleen mahdollisuuden tutustua Rikastettuun Todellisuuteen Billy-hyllyn 30-vuotisjuhlien kunniaksi avatulla sivustolla (ks. kuvio 4). IKEAn sovellus on toteutettu selaimessa toimivalla Flash-tekniikalla (Billy 30 år 2009).



KUVIO 4. Billy-hyllyn juhlavuotta juhlistettiin Rikastetun Todellisuuden avulla (Billy 30 år 2009). Ikean sovelluksella voidaan harrastaa kevyttä sisustussuunnittelua. Tulevaisuudessa samankaltaisia toteutuksia tullaan näkemään lisää.

Mainostoimisto Zugara toteutti Rikastettua Todellisuutta ja liikkeentunnistusta yhdistelevän virtuaalisen sovituskopin, jonka avulla nettikaupasta tilattavia vaatteita voi sovittaa kotona jo etukäteen (ks. kuvio 5). Valinnat tehdään liikuttamalla kättä ilmassa roikkuvien virtuaalinappien päällä. Sovelluksella voi myös ottaa kuvia eri asuista, ja ne on helppo lähettää erilaisiin sosiaalisiin medioihin muiden käyttäjien arvioitaviksi. (Zugara 2009.)



KUVIO 5. Zugaran kehittämässä sovelluksessa käytetään liikkeentunnistusta (Zugara 2009). Virtuaalinen sovituskoppi on käytössä Tobii.com-verkkokaupassa.

Myös Ray-Ban-aurinkolasimerkki luotti Rikastettuun Todellisuuteen omassa tuotteiden sovitusohjelmassaan. Ohjelmaan merkitään manuaalisesti käyttäjän kasvot, minkä jälkeen virtuaaliseen peilikuvaan lisätään aurinkolasit. Ohjelma osaa myös piirtää käyttäjän kasvoille oikein lankeavat varjot (ks. kuvio 6). Hienosti toimiva sovellus ei toimi suoraan selaimessa, vaan käyttäjän tulee ladata ohjelman asennuspaketti koneelleen. (Ray-Ban 2010.)



KUVIO 6. Virtuaaliseen peiliin katsottaessa nenällä voi olla aurinkolasit (Ray-Ban 2010). Rikastetun Todellisuuden sovellus toimii erittäin hyvin aurinkolasien sovituksessa. Ranskassa toimiva FittingBox-yritys tarjoaa samaa tekniikkaa myös silmälasivalmistajille.

Täysin oma ryhmänsä ovat mobiililaitteissa toimivat todellisuusselaimet, jotka kompassin ja GPS-signaalin perusteella tietävät käyttäjän sijainnin ja katselusuunnan. Toisin kuin useimmissa muissa Rikastetun Todellisuuden sovelluksissa, todellisuusselaimet lisäävät kuvaan 2D-objekteja. 2D-objektit vaativat vähemmän suorittintehoa, mutta myös sopivat sovellusten käyttötarkoitukseen 3D-malleja paremmin. Kuviossa 7 kuvattu Wikitude on Mobilizy GmbH:n kehittämä todellisuusselain, joka näyttää kulloinkin katseltavasta kohteesta lisätietoja. Kohteisiin liittyvä informaatio noudetaan esimerkiksi internettietosanakirja Wikipediasta. Todellisuusselaimen näytöllä leijuu pieniä tietoiskuja nähtävyyksistä, mutta selaimen avulla voidaan myös systemaattisesti etsiä tiettyjä palveluita. (Wikitude 2010.) Muita samantyyppisiä sovelluksia ovat esimerkiksi Layar ja Robotvision. Layar toimii nimensä mukaisesti erilaisilla tasoilla, jotka sisältävät tietyn tyyppistä informaatiota. Käyttäjien on mahdollista luoda omia tasojaan, joko omaan tai yleiseen käyttöön (Layar 2010). Robotvision taas noutaa tietonsa Microsoftin Bing-hakupalvelusta (Robotvision 2009). Wikitude Drive on täysiverinen navigaattori, joka ei tarvitse karttoja, vaan suuntanuolet ja ohjeet piirretään suoraan videokuvan päälle (ks.

kuvio 7). Tällä hetkellä (kevät 2010) Wikitude Drive on saatavilla Android-käyttöjärjestelmällä varustettuihin mobiililaitteisiin. (Wikitude 2009.)



KUVIO 7. Mobilizy GmbH:n RT-tuotteet on suunniteltu mobiililaitteille (Wikitude 2009; Wikitude 2010). Vasemmanpuoleisen kuvan Wikitude-todellisuusselain kertoo lisätietoa lähes kaikesta. Wikitude Drive opastaa kohteeseen ilman karttoja.

VTT:n tavoin myös BMW-autonvalmistaja on suunnitellut Rikastetun Todellisuuden avustamaa kokoonpanoa ja korjausta. Kuviossa 8 datalaseja käyttävä mekaanikko saa yksityiskohtaiset ohjeet eri osien irrotukseen ja kokoamiseen. (Platonov, Heibel, Meier & Grollmann 2006.) BMW, kuten myös konserniin kuuluva Mini, on käyttänyt Rikastettua Todellisuutta automallien esitteissä. Näytettäessä esitettä web-kameralla voidaan auton 3D-mallia tarkastella eri suunnista (Mini Cooper 2008). BMW:n Z4 mallia voi käyttää jopa virtuaalisena maalisiveltimenä (BMW 2009).



KUVIO 8. BMW-tehtaan tulevaisuus saattaa olla rikastettu (BMW 2009). Työtä helpottava sovellus näyttää tarvittavat työkalut ja varaosat. Lisäksi mekaanikkoa opastetaan työn suorituksessa.

Moni lapsi ja vielä useampi vanhempi ei usko, että näyttämällä Lego-pakettia kameralle, näkee, miltä valmis malli tulee näyttämään (ks. kuvio 9). Lisäksi mallit ovat täysin animoituja. Tällä hetkellä vain Orlandon Lego Imagination Center-kaupassa toimiva laite saapuneen myös muihin Lego-myymöläihin vuoden 2010 aikana. RT-tekniikasta vastaa yksi alan johtavista yrityksistä, Metaio. (Attractions magazine 2009.)



KUVIO 9. Myös perinteiset Lego-palikat luottavat Rikastettuun Todellisuuteen (Attractions magazine 2009). Lego-pakkaukset heräävät eloon animoitujen 3D-mallien avulla.

Kuvion 10 mukaisessa Arroach-projektissa torakkafobiasta kärsinyttä naista siedätettiin Rikastetun Todellisuuden avulla. Ennen siedätyksen alkua nainen ei uskaltanut lähestyä oikeaa torakkaa, mutta hoitojen jälkeen hän uskalsi tappaa torakan itse. Tutkimustuloksissa päätettiin Rikastetun Todellisuuden olevan tehokas tapa hoitaa erilaisia fobioita. (Juan, Botella, Alcañiz, Baños, Carrion, Melero & Lozano 2004.)



KUVIO 10. Virtuaaliset torakat puistattavat siinä missä oikeatkin (Juan ym. 2004). Siedätyshoitojen jälkeen on helpompi toimia todellisessa tilanteessa. Virtuaalisilla torakoilla harjoittelu on helposti lähestyttävä terapiamuoto.

Myös hieman hullumpia Rikastetun Todellisuuden kohteita löytyy (ks. kuvio 11). Miltä kuulostaisi 3D-tatuointi tai kenkä, jota heiluttamalla voi pelata pelejä? Adidaksen RT-kengän voi myös tulostaa ja askarrella, mutta täyden sisällön saa auki vain oikealla jalkineella. Rajoitettuna eränä myytäviä, viittä Adidaksen kenkämallia on muokattu lisäämällä 2D-matriisimarkkeri kengän kieleen. Metaion luomaa RT-tekniikkaa käyttävä kampanjasivusto tarjoaa pieniä pelejä ja mahdollisuuden voittaa oikeita tuotepalkintoja. (Adidas Originals 2010.)



KUVIO 11. Jalot tarkoitusperät omaavaa tekniikkaa tuotteistetaan surutta (ThinkAnApp 2010; Adidas Catalogue 2010). Rikastetun Todellisuuden käyttämiä seurantakuvioita alkaa hiljalleen löytyä joka puolelta. Toisaalta kokeilunhaluiset mainostoimistot tekevät tutkimustyötä, jonka avulla saadaan selville minne tekniikka ei todellakaan sovi.

3 TYÖKALUT JA TEKNIikka

3.1 Esitystavat

3.1.1 HMD

Rikastetun Todellisuuden esitystavoista lähimpänä Sutherlandin alkuperäistä visioita on HMD, eli Head Mounted Display. HMD on hattumainen tai aurinkolasimallinen laite, joka asetetaan käyttäjän päähän siten, että yksi tai kaksi näyttöruutua peittää käyttäjän silmät. Mikäli näyttöjä on kaksi, voidaan laitetta käyttää myös stereoskooppisen kuvan katseluun, jolloin molemmille silmille syötetään kuvaa hiukan eri kulmasta. Tällöin kuvaan saadaan syvyysvaikutelma. (Brooks 1999.)

HMD-laitteita on täysin läpinäkyvättömiä ja puoliksi läpinäkyviä. Täysin läpinäkyvättömissä laitteissa käytetään yleensä pientä LCD- tai LED-näyttöä, jonka kuva vastaa tiettyä tuumakokoa tietyltä etäisyydeltä. HMD-laitteiden valmistajat ilmoittavat suorituskyvyn mieluummin tuumakokona tietyltä etäisyydeltä kuin Field Of View eli FOV-arvona. Ihmissilmien näkökentän laajuus, eli FOV, on noin 180 astetta, kun suurimmassa osassa HMD-laitteista FOV on vain noin 30–50 astetta (Ber-

natchez 2007). Myöskään resoluutio ei nykyisissä näyttötekniikoissa riitä vastaamaan silmän ominaisuuksia. Rikastetun Todellisuuden kontekstissa, HMD-laitteissa kamera tai kamerat sijoitetaan silmien tasolle ja ne kiinnitetään siten, että käyttäjän kääntäessä päätään myös näyttöjen näyttämä kuva kääntyy, jolloin näkymä vastaa mahdollisimman hyvin luonnonmukaista tilannetta (ks. kuvio 12). Mikäli käytössä on puoliksi läpinäkyvä HMD-laite, käytetään kameraa ainoastaan lisättävien kohteiden sijoitteluun. Koska käyttäjän näkemä todellisuus ei ole videokuvaa, ei resoluutio- tai värivääritymäongelmia tule. Lisätyt kohteet heijastetaan tekniikasta riippuen joko puoliksi hopeoituun peiliin, tai Rikastettua Todellisuutta katsellaan läpinäkyvän näytön läpi. (Bimber & Raskar 2005, 74.)

Ensimmäisen toimivan HMD-laitteen rakensi Ivan Sutherland ja Bob Sproull vuonna 1968. Laite käytti kahta puoliksi hopeoitua peiliä ja kuvaputkinäytöjä, jotka piirsivät tietokoneella generoitua grafiikkaa käyttäjän näkökenttään. Graafisten elementtien sijoittamiseen laite käytti sekä mekaanista, että ultraääneen perustuvaa käyttäjän pään seuranta. (Sutherland 1965.)



KUVIO 12. Näyttölaseista ja web-kamerasta saa nenää painavan RT-laitteen. KIHUlle toteutetun sovelluksen testaamista varten rakennettiin yksinkertainen, mutta toimiva Rikastettua Todellisuutta tukeva HMD-laite. Pääkomponentteina toimivat Olympuksen Eye-Trek-lasit sekä tavallinen web-kamera. Koska lasit hyväksyivät videosyötettä ainoastaan Playstation 2-pelikonsolista, rakennettiin lisäksi yksinkertainen signaalinmuunnosyksikkö.

3.1.2 Projektio

Videotykkiä käytettäessä voidaan todellisuuteen heijastaa uusia kohteita. Rikastukset heijastetaan joko tasaiselle pinnalle tai tietyn muotoisille kohteille, jolloin kyseiset kohteet saavat erilaisen pinnoitteen. Projektoitua rikastusta on käytetty lähinnä erilaisissa museoissa ja näyttelyissä. Projektorien koon pienentyminen on kuitenkin tuonut mielenkiintoisia mahdollisuuksia, kuten kuvion 13, SixthSense-laiteen.



KUVIO 13. SixthSense mahdollistaa käyttöliittymän heijastamisen jopa käteen (Mistry & Maes 2009). Laitteen kamera tunnistaa värilliset sormenpäät ja tulkitsee tietyn värin käytön napinpainallukseksi.

Tavanomaisesti varustellulla ihmisellä on viisi erilaista aistia joilla analysoida ja tarkkailla maailmaa. Vaikka saammekin ympäristöstä paljon tietoa omilla aisteilamme, tietoverkkoihin kerätty lisätieto ei varmasti ole pahitteeksi. Riipuksen tavoin kaulassa pidettävä SixthSensen prototyyppi koostuu pienikokoisesta videoprojektorista, peilistä ja kamerasta. Käyttäjällä on mukanaan myös pienikokoinen tietokone. Järjestelmä pystyy käyttämään projektioalustanaan lähes jokaista pinta. Käteen voidaan heijastaa puhelimen numeronäppäimistö tai lentolippuun mahdollinen lähdön myöhästyminen. Tarvittavat tiedot noudetaan julkisista tietoverkoista. Tekniikan mahdollisuuksia esittelevä karttasovellus on myös olemassa. Kameran ja videotykin yhteistyöllä voidaan myös luoda näkyviä piirroksia ilman fyysisiä piirtovälineitä. Käyttöliittymän kamera tunnistaa käyttäjän kädenliikkeet joilla sovelluksia voidaan ohjata. Käyttäjän sormenpäissä on erivärisiä seuranta-merkkejä, joita seurataan yksinkertaisella tietokonenäkö-tekniikalla. Pranav Mist-

ryn kehittämä ja todella monipuolisia sovelluksia tukevan prototyypin rakennuskustannukset jäävät alle 300 euroon. (Mistry & Maes 2009.)

3.1.3 Magic Lens ja Magic Mirror

Tämän hetkisissä Rikastetun Todellisuuden-sovelluksissa yleisin käytettävä esitystapa on joko Magic Lens- tai Mirror-metafora. Magic Lens-esitystapaa käytetään erityisesti mobiililaitteissa, osaksi laitteiden ominaisuuksien, mutta myös toimivan käytettävyyden vuoksi. Tekniikkaa käytettäessä laite, joka on varustettu vastakkaisilla ulkopinnoilla sijaitsevilla näytöllä ja kameralla, asetetaan kohteen eteen siten, että kamera kaappaa kohteesta reaaliaikaista videokuvaa. Ohjelmisto liittää videovirtaan mahdolliset 3D-mallit ja komposiittivideo esitetään laitteen näytöllä. Optimaalisissa olosuhteissa näytön esittämä komposiittivideo on vain muutaman millisekunnin todellisuutta jäljessä. (Newman 2008, 5 - 6.) Poikkeuksetta lähes jokainen matkapuhelin ja PDA on varustettu Magic Lens-tekniikan vaatimalla teknologialla. Myös suurin osa Rikastetun Todellisuuden mobiilisovelluksista käyttää kyseistä tekniikkaa.

Pöytäkoneiden ja kannettavien puolella vallitseva tekniikka on kuvion 14 mukainen Magic Mirror-, eli peilimetafora, jota käytettäessä sekä kamera, että näyttölaite osoittavat samaan suuntaan. Sovellusten luoma näyttökuva vastaa peiliä, jolloin itse kameraa ei yleensä liikuteta vaan mahdollinen seurantakuvio on liikkuva elementti (Cawood & Fiala 2008, 15). Tekniikan yleisyyteen vaikuttaa myös laitteistojen jo olemassa olevat mahdollisuudet sekä käyttäjien tottumukset. Peili on länsimaisen ihmiselämän jokapäiväinen tuttavuus, jolloin myös metaforaa toteuttavan sovelluksen käyttö on luonnollista ja helppoa. Myös KIHUn liikeanalyysin esitysohjelma käyttää Magic Mirrorin mukaista esitystapaa.



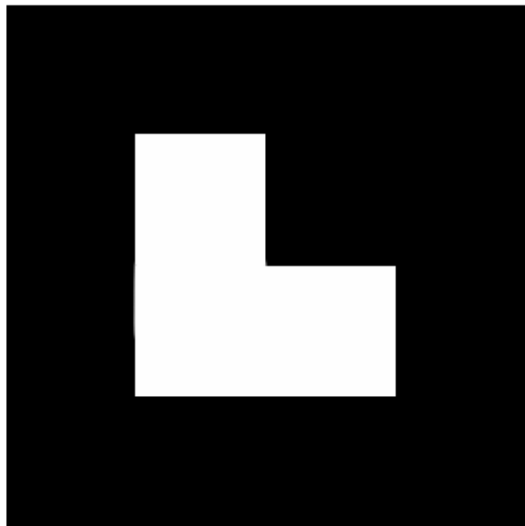
KUVIO 14. Mirror-metфора tarvitsee käyttäjän eteen sijoitetun kameran. Kuviossa käyttäjä venyttelee virtuaalisen valmentajan kanssa.

3.2 Tekniikat

3.2.1 2D-matriisimarkkeri

Rikastetun Todellisuuden sovelluksen täytyy tietää mihin kohtaan 3D-objetti tulee sijoittaa. Tällöin yleisin tapa on käyttää markkeria eli seurantakuviota. Markkereina on käytetty muun muassa valokuvia ja LED-valoja, mutta yksinkertainen mustavalkoinen kuvio on toimivin niin tunnistusteholtaan kuin myös kustannuksiltaan (ks. kuvio 15). 90-luvun puolessa välissä Sony Computer Entertainmentilla työskentelevä Jun Rekimoto tutki 2D-viivakoodin käyttöä markkerina. Rekimoto kehitti tekniikan, joka mahdollisti yksinkertaisten tulostettujen markkerien käytön (Rekimoto 1998). Tulostettavat markkerit ovat käytännössä ilmaisia ja niitä on mahdollista sijoittaa lähes joka paikkaan. Rekimoton kehittämää tekniikkaa on käytetty myös Playstation 3-konsolille julkaistussa Eye of Judgement-pelissä (Rekimoto 2006). Roolipelielementtejä sisältävässä pelissä kameran eteen lasketaan fyysisiä pelikort-

teja, joihin on painettu markkerit. Tunnistetuista markkereista nousee pelissä käytettäviä hirviöitä.



KUVIO 15. L-kirjaimen muotoinen markkeri on yksinkertainen ja toimiva. Mikäli käyttäjällä ei ole mahdollisuutta tulostaa markkeria, voidaan yksinkertainen L-markkeri luoda muillakin tavoilla, esimerkiksi piirtämällä tai leikkaamalla.

Jokaista lisättävää 3D-objektia vastaa yksi uniikki markkeri, jonka liikkeitä kyseinen malli seuraa. Markkerin avulla määritetään lisättävän 3D-objektin oikea kulma ja sijainti, useita kertoja sekunnissa. Yleisesti ottaen markkerin seuranta on toimintavarmaa, mutta ongelmat ilmenevät mikäli osa markkerista peittyy, eikä kuvio vastaa enää ohjelman vertailukohtaa. Osa ohjelmistoista osaa korjata tilannetta, eikä esimerkiksi yhden kulman peittyminen estä sijainnin määrittämistä. Mikäli kohdetta halutaan tarkastella läheltä tai malli on suurikokoinen, siten ettei tarkasteltava osuus mahdu kameran kuvaan markkerin kanssa, vaihtoehtona on käyttää useampaa markkeria, jotka osaavat suhteuttaa välittämänsä sijaintitiedot toisiinsa nähden. Esimerkkinä kolme vierekkäistä markkeria joiden välimatka toisiinsa nähden on tiedossa. Katsottaessa kohdetta suoraan edestä ohjelma seuraa ainoastaan keskimäistä markkeria ja sen mukaan määritetty sijaintitieto käytetään sellaisenaan. Kameran liikkuesssa vasemmalle, keskimäinen markkeri peittyy ja ohjelma siirtyy seuraamaan vasemmanpuoleista kuviota. Kuvion mukaan määritettyä sijaintitietoa ei käytetä suoraan vaan siitä poistetaan tunnettu välimatka, jolloin 3D-

mallin sijainti pysyy oikeana suhteessa todellisuuteen. Edelleen siirryttäessä oikealle sijainti tietoon lisätään tunnettu välimatka. Esimerkin mukaisten markkereiden tulee olla toisiinsa nähden erilaisia ja niiden väliset sijaintierot täytyy olla ohjelman tiedossa. Valokuvien ja muiden 2D-viivakoodia monimutkaisempien seurantakuvioiden käyttöä pidetään markkeri tekniikoina vaikka toimintaperiaatteet liittyvät enemmän markkerittomaan tekniikkaan.

3.2.2 Markkeriton tekniikka

Markkerittoman tekniikan suurpiirteinen määritelmä on, ettei kuvattavaan tilaan lisätä mitään erityistä seurattavaa kuviota, vaan seurantaan käytetään jo olemassa olevia muotoja tai esineitä. Tekniikalla on useita erilaisia toteutustapoja, mutta nykyisin suosituin, sotilaskäyttöön kehitettyyn SLAM-tietokonenäköön (Simultaneous Localization And Mapping) perustuva tekniikka, etsii ja tallentaa tunnistettavia muotoja suoraan videokuvasta. Tunnistettujen pisteiden mukaan luodaan niin kutsuttu kartta, jonka avulla 3D-maailma ja todellisuus voidaan yhdistää. (Wikipedia 2010a.) Toinen mahdollisuus on tunnistaa kuvasta ennalta määrättyjä muotoja ja verrata niitä ohjelmaan määritettyihin verrokkeihin. Tällöin toiminta on lähellä markkeri tekniikkaa. Mikäli kamera on staattinen tai sen liike voidaan määrittää antureilla, voidaan käyttää koko tilan kattavaa 3D-vastinetta. Tällöin tuotettu komposiitti on tarkka, mutta todellisessa käytössä tekniikalle ei löydy monia käyttökohteita sen kömpelyyden vuoksi. (Cawood & Fiala 2008, 17.)

Yksi näyttävimmistä markkerittoman tekniikan esimerkeistä on Georg Kleinin ja David Murrayn kehittämä PATAM-järjestelmä, joka analysoi ja kartoittaa kohteen tuhansilla vertauspisteillä. Järjestelmän suurin vahvuus on monisäieajo, jolloin yhtäaikaaisesti toinen säie analysoi ja toinen luo karttaa. Yleisesti samankaltaisissa järjestelmissä on totuttu tekniikkaan, joka luo kartan vasta analysoinnin jälkeen. Tietokoneelle suunniteltu järjestelmä on saatavilla myös mobiililaitteille. (Klein & Murray 2007.)

3.2.3 GPS, gyroskooppi ja kompassi

Uusien matkapuhelimien sensorit ovat tuoneet mahdollisuuden rikastaa todellisuutta myös ilman monimutkaista kuvan analysointia. Pääkäyttökohteena toimivat todellisuusselaimet, joiden avulla käyttäjä voi etsiä ympäriltään palveluja tai saada lisätietoa esimerkiksi nähtävyyksistä. Uusissa matkapuhelimeissa ja PDA-laitteissa on yleensä kamera, jonka kaappaamaan ja käyttäjän näkemään todellisuuteen voidaan lisätä halutut ohjeet tai lisätiedot. Todellisuuteen lisättävät kohteet saadaan sijoitettua oikeaan kohtaan paikallistamalla käyttäjä GPS-signaalilla, jonka jälkeen käyttäjän katselusuunta ja asento määritetään digitaalisen kompassin ja gyroskoopin tietojen perusteella. Tämän jälkeen käyttäjä voi seurata mobiililaitteen näytöllä näkyvää kohdetta, kuin hänellä olisi käytössään erittäin erikoistunut tutka. Tekniikan suurin vahvuus on helppo yhdistettävyyys jo olemassa oleviin tietokantoihin. Lisäksi tarvittava laitteisto on jo olemassa ja käytössä. Suurimmat ongelmat liittyvät antureiden tarkkuuteen ja erityisesti heikkoihin GPS-signaaleihin.

Oman mausteensa todellisuusselaimiin tuo myös Googlen Goggles, joka käyttää mobiililaitteen kuvaa normaalin hakusanan tavoin. Goggles vertaa haluttua kuvaa Googlen valtaviin tietokantoihin ja palauttaa parhaiten vastaavat hakutulokset. Sovelluksella on mahdollista saada esimerkiksi kirja-arvosteluja pelkästään kuvaamalla kirjan kantta. Tiedonhaku kestää vain muutaman sekunnin, koska varsinaisen vertauksen suorittaa Googlen-palvelimet eikä käyttäjän päätelaite. (Google Goggles 2010.)

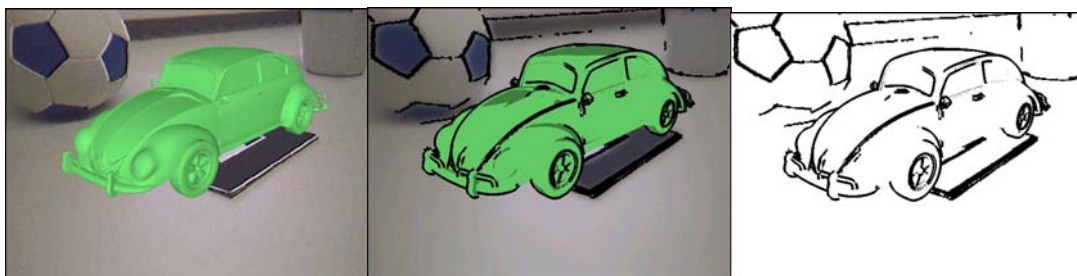
3.3 Rikastetun Todellisuuden todenmukaisuus

Rikastetun Todellisuuden kohteet pyrkivät sulautumaan todellisuuteen saumattomasti. Tällöin saatetaan tarvita myös erillisiä antureita, joilla voidaan tarkkailla todellisuutta (Reitmayr 2004, 2). Tällaisia antureita voivat olla esimerkiksi lämpötila- tai tuulianturit. Mikäli ulkona tuulee, täytyy myös ulos sijoitetun virtuaalisen

hahmon hiusten reagoida siihen. Toisaalta paikalliset säätiedot voidaan kerätä myös säätiedotteista, tällöin tarkkuus ei välttämättä ole kovin hyvä.

3D-kohteiden tulee reagoida todellisuuteen, mutta niiden täytyy myös näyttää todellisilta. Tärkeä osa todellisuuden sopeutumista on okluusion hallinta, eli mikäli käyttäjän silmien ja kauempana olevan virtuaaliobjektin väliin lisätään kohteita, tulee näiden kohteiden peittää taustalla näkyvä virtuaalikohte (Barakonyi 2006, 25). Ohjelman tulee pystyä analysoimaan vallitsevat valaisuolosuhteet ja generoida niiden mukaan vastaavat virtuaaliset valot. Tällöin 3D-objektien heijastukset ja varjot voivat vastata todellisuutta. Tärkeää on myös animoitujen humanoidien liikkeen sulavuus ja luonnollisuus. Liikkeenkaappausjärjestelmät ovat kehittyneet jo tasolle, jolla on mahdollista luoda realistista ihmisliikettä. Myös 3D-grafiikalla voidaan luoda realistisen näköisiä kohteita, joten suurin ongelma on näytettävien kohteiden reaaliaikainen esittäminen.

Tehokkaita suorittimia vaativat ongelmat voidaan ratkaista siirtämällä prosessointitehoa vaativat toiminnot pienestä päätelaitteesta suuriin palvelinkoneisiin, mutta vaihtoehtona on myös todellisuuden huonontaminen 3D-mallin tasolle. Tällöin videokuvan ja 3D-objektin komposiittikuvaan lisätään suodatin joka muuttaa esitettävän kuvan niin sanotun tasalaatuiseksi. Komposiittikuvasta voidaan tehdä esimerkiksi, kuvion 16 mukaisesti, piirrosmaista, jolloin 3D-mallin virheet eivät erotu todellisuudesta. (Fischer & Bartz 2005.)



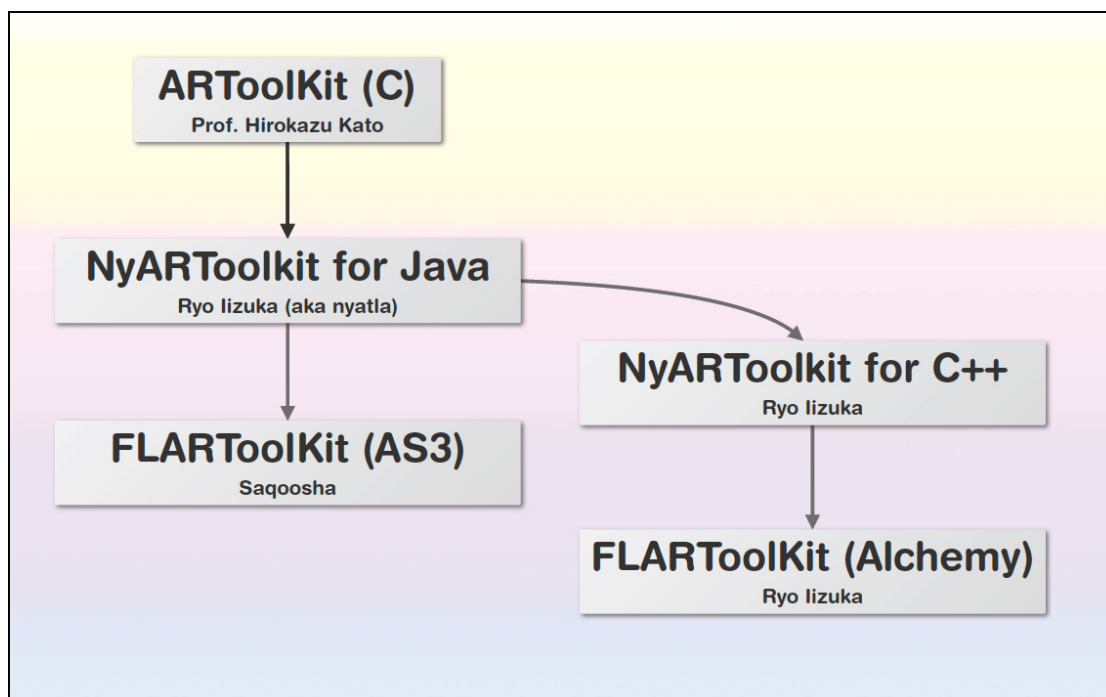
KUVIO 16. Todellisuutta voidaan huonontaa, mikäli 3D-objekti ei ole laadukas (Fischer & Bartz 2005). Kuvasarjan ensimmäiseen kuvaan 3D-objekti on lisätty ilman suodattimien käyttöä. Toisessa ja kolmannessa kuvassa komposiittikuva on muokattu tasalaatuiseksi.

3.4 Flartoolkit

3.4.1 Perusteet

ActionScript-kielinen FLARToolkit on luotu NyARToolkitin pohjalta. Java-kielinen NyARToolkit puolestaan perustuu C-kieliseen ARToolkitiin (ks. kuvio 17). ARToolkitin kehitti alun perin tohtori Hirokazu Kato ja sitä kehitetään edelleen. FLARToolkitin pääkehittäjänä toimii Tomohiko Koyama, lempinimeltään Saqoosha. FLARToolkitin ensimmäinen versio julkaistiin toukokuussa 2008. FLARToolkitin pääasiallisena tehtävänä on tunnistaa markkeri videokuvasta ja laskea sen suunta ja sijainti 3D-maailmassa. Lisäksi FLARToolkitistä löytyy apuluokat suosituimmille 3D-kirjastoille, jolloin 3D-mallien käyttö on helppoa. Tuetut 3D-moottorit ovat Papervision3D, Sandy, Away3D ja Alternativa3D. FLARToolkitin tukena toimii Eric Socolofskyn kehittämä FLARManager, jonka avulla FLARToolkitin asetusten optimointi helpottuu. Lisäksi FLARManager lisää mahdollisuuden tunnistaa useita markkereita yhtä aikaa. (Koyama 2009.)

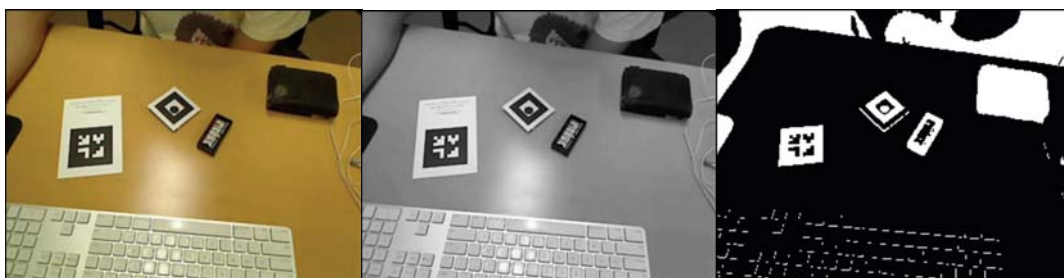
FLARToolkit on ilmainen, mikäli sitä ei käytetä kaupallisesti. Tällöin lisenssinä toimii GPL ja sovelluksen lähdekoodi on annettava, mikäli sitä pyydetään. FLARToolkitin lisenssit perustuvat ARToolkitin lisensseihin, joten on olemassa myös kaupallinen lisenssi, jonka voi lunastaa ARToolworksiltä. (HIT Lab 2007b.)



KUVIO 17. FLARToolKitin sukupuu (Koyama 2009). FLARToolKit perustuu NyARToolKitin Java-versioon, mutta Alchemy-versio juontaa juurensa C++-kieliseen NyARToolKitiin.

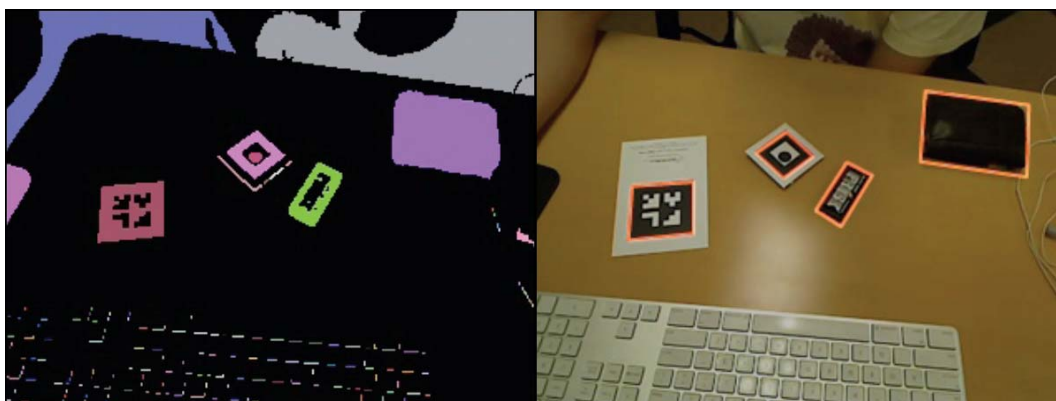
3.4.2 Toiminta vaiheittain

Todellisuuden ja 3D-mallin yhdistämiseen FLARToolKit tarvitsee seitsemän vaihetta. Ensimmäisenä web-kameran kuva kaapataan ja se muutetaan harmaasävyiseksi. Tämän jälkeen kuvasta poistetaan sävyjä kunnes jäljellä on enää mustaa ja valkoista (ks. kuvio 18). Pikseleiden muutos toteutetaan valitsemalla kirkkauden raja-arvo. FLARToolKitissä raja-arvo on käyttäjän määrittämä, mutta käytettäessä FLARManageria säätyy raja-arvo valaistuksen mukaan. Mikäli käsiteltävällä pikselillä kirkkausarvo on alle raja-arvon, sen väriksi tulee täysin musta. Mikäli arvo on yli rajan, tulee pikselistä valkoinen. (Socolofsky 2009a.) Mustavalkoisen kuvan pikselit voidaan lukea 0- ja 1-merkkeinä eli kuva on binarisoitu. Binarisoidyn kuvan käsitteily on huomattavasti normaalia kuvaa nopeampaa.

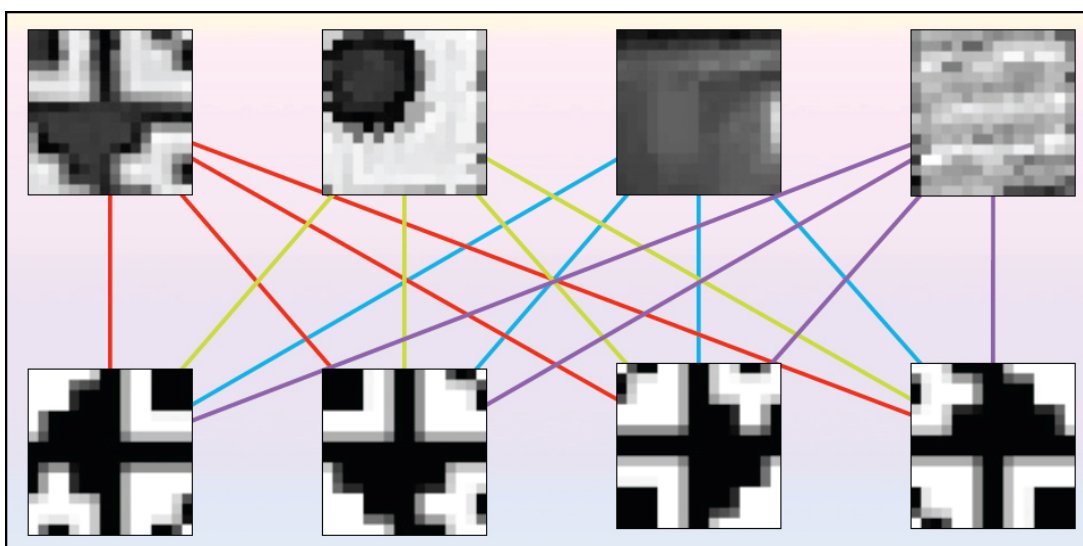


KUVIO 18. Kuvan kaappaus ja binarisointi (Koyama 2009). Videokameran kuvan kaappauksen jälkeen siitä poistetaan värisävyjä kunnes kuva on täysin mustavalkoinen.





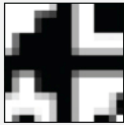


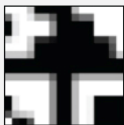
Kameran kuvasta etsitään yhtenäiset alueet ja löydetyt alueet merkitään eri väreillä. Yhtenäiset alueet ovat ehdokkaita markkerin sijainniksi. Ehdokkaiden joukosta etsitään neliömuotoja, eli markkerin reunoja (ks. kuvio 19). Jokaista löydettyä neliömuotoa verrataan muistiin tallennettuun markkeriin ja mikäli confidence-arvo ylittyy, on markkeri löydetty (ks. kuvio 20). Confidence-arvo kertoo kuinka varma FLARToolkit on löytämästään markkerista. Mikäli videosyötteestä havaittu markkeri on täysin identtinen muistiin tallennetun kanssa, on confidence-arvo 1. Normaali tilanteessa confidence on noin 0.6–0.9 (ks. kuvio 21). Arvoon vaikuttaa markkerin kulma, etäisyys ja valaistus. Confidence-arvon raja-arvoa voidaan manuaalisesti säätää, jolloin huonojen olosuhteiden vallitessa markkerin tunnistus helpottuu. Mikäli vääriä positiivisia on liikaa, voidaan confidence-rajaa nostaa, jolloin vain varmat tapaukset pääsevät jatkokäsittelyyn. (Koyama 2009.)



KUVIO 19. Alueiden värjäys sekä reunojen etsintä (Koyama 2009). Kuvasta merkitään yhtenäiset alueet joiden joukosta etsitään neliskulmaiset kandidaatit.

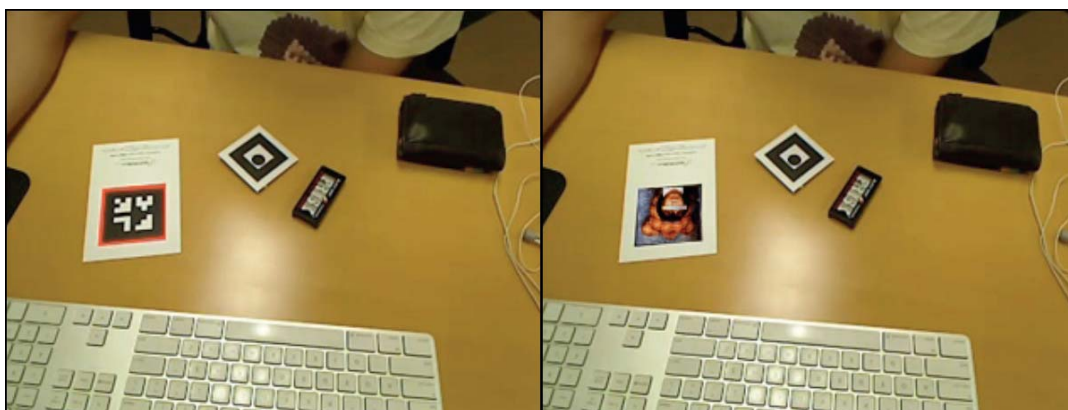


KUVIO 20. Kandidaattien vertaus muistin verrokki-markkeriin (Koyama 2009). Joista löydettyä kandidaattia verrataan muistiin tallennettuun verrokki-markkeriin. Koska markkeri ei saa olla identtinen mistään suunnasta, vertaus tehdään joka suunnasta, jolloin selviää 3D-objektin haluttu suuntaus.

				
	0.38	0.29	-0.15	-0.11
	0.86	0.20	-0.01	-0.14
	0.27	-0.03	0.03	-0.14
	0.13	0.16	-0.08	-0.01

KUVIO 21. Korkein confidence-arvo määrittää kandidaateista markkerin (Koyama 2009). Mitä lähempänä numeroa yksi confidence on, sitä varmempi FLARToolkit on löytämästään markkerista. 3D-malli sijoitetaan korkeimman confidence-arvon omaavan nelikulmion päälle.

Kun markkeri on varmuudella löydetty, sen sijainnin ja kulman perusteella lasketaan 3D-objektin muunnosmatriisi, jonka avulla objekti saadaan sijoitettua todellisuuteen siten, että fyysiseen markkeriin kohdistuvat sijainnin lainalaisuudet säilyvät myös 3D-mallissa. Viimeisenä vaiheena muunnosmatriisi lähetetään 3D-moottorille, joka renderoi halutun mallin oikeaan kohtaan ja asentoon (ks. kuvio 22). Mikäli fyysisen maailman markkeria käännetään tai liikutetaan, seuraa myös 3D-malli liikettä. Sama prosessi toistetaan kymmeniä kertoja sekunnissa. (Koyama 2009.)



KUVIO 22. 3D-malli asetellaan FLARToolkitin raportoimaan paikkaan (Koyama 2009). FLARToolkit ei itse piirrä 3D-malleja, vaan haluttu sijainti ja asento välitetään erilliselle 3D-moottorille. Oikean puoleisessa kuvassa markkeri on peitetty 3D-tasolla.

3.4.3 Markkerit

Markkeriton Rikastettu Todellisuus on ehdottomasti tulevaisuutta, mutta toistaiseksi ActionScriptille ei ole FLARToolkitin vertaista markkeritonta vaihtoehtoa. Markkeri on fyysisessä maailmassa sijaitseva kuvio, jonka FLARToolkit havaitsee videosyötteestä ja sijoittaa sen mukaan 3D-mallit vastaamaan todellisuuden mukaista sijaintia ja kallistusta. Huomionarvoista markkerin suunnittelussa on se, ettei markkeri saa olla symmetrinen mistään suunnasta. FLARToolkitin tulee erottaa eri asennot, joissa markkeri on.

Markkerien luomiseksi löytyy useita vaihtoehtoja. FLARToolkitiä ajatellen sopivimmat vaihtoehdot ovat TaroTaron online-generaattori ja Saqooshan AIR-sovellus. FLARToolkitin Keskusteluryhmässä Saqooshan sovelluksesta on raportoitu parempia tuloksia, mutta TaroTaron online-versio ei vaadi ohjelmien asennusta ja on täten nopeampi vaihtoehto (FLARToolKit userz 2010b). Myöskään suorituskyyerot eivät ole merkittäviä. Suorituskyyeroilla tarkoitetaan FLARToolkitin ilmoittamaa confidence-arvoa markkerin löydyttyä. Mitä suurempi FLARToolkitin raportoima arvo on, sitä nopeammin ja varmemmin sovellus toimii.

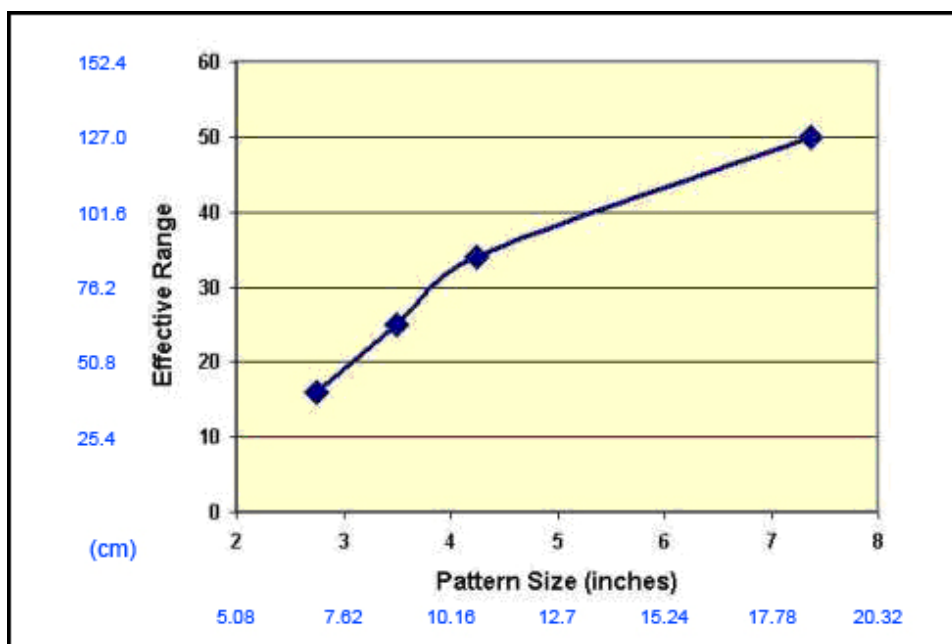
Markkerin luonti aloitetaan piirtämällä musta neliö jonka sisään sijoitetaan valkoinen kuvio. Piirretyn markkerin maksimiresoluutio saa olla 300x300 pikseliä, jotta TaroTaron generaattori pystyy lukemaan sen. Generaattorissa on myös mahdollisuus kaapata markkeri suoraan web-kameran kuvasta, mutta markkerin laatu paranee lataamalla kuvankäsittelyohjelmassa piirretyn kuvatiedoston. Videokuvasta kaappaamista varten markkeri täytyy tulostaa, mutta myös mobiililaitteen näytöltä markkereita voidaan tunnistaa. (Reiling 2009.)

Generaattorissa valitaan haluttu resoluutio markkerille. Vaihtoehtoina on 4x4, 8x8, 16x16, 32x32 tai 64x64. Resoluution valintaan kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, koska mitä pienempi resoluutio on, sitä helpommin ja nopeammin FLAR-Toolkit sen havaitsee. Toisaalta monimutkaisen markkerin mallintamiseen tarvitaan enemmän resoluutiota. Optimaalisessa tilanteessa markkeri on L-kirjaimen muotoinen 4x4 resoluutiolla, tällöin markkeri on joka suunnasta erinäköinen ja nopeasti havaittava. Ongelmana L-markkerissa voi olla sekoitettavuus taustalla esiintyviin, samanmuotoisiin kohteisiin. Markkerin koolla tarkoitetaan prosentuaalista osuutta, jonka itse valkoinen kuvio koko markkerista vie. 4x4 resoluutiolla valkoinen osuus vie maksimikoossaan kaksi neljästä pysty- ja vaakaneliöstä, tällöin generaattorissa markkerin kooksi valitaan 50 %. (TaroTaro 2009.)

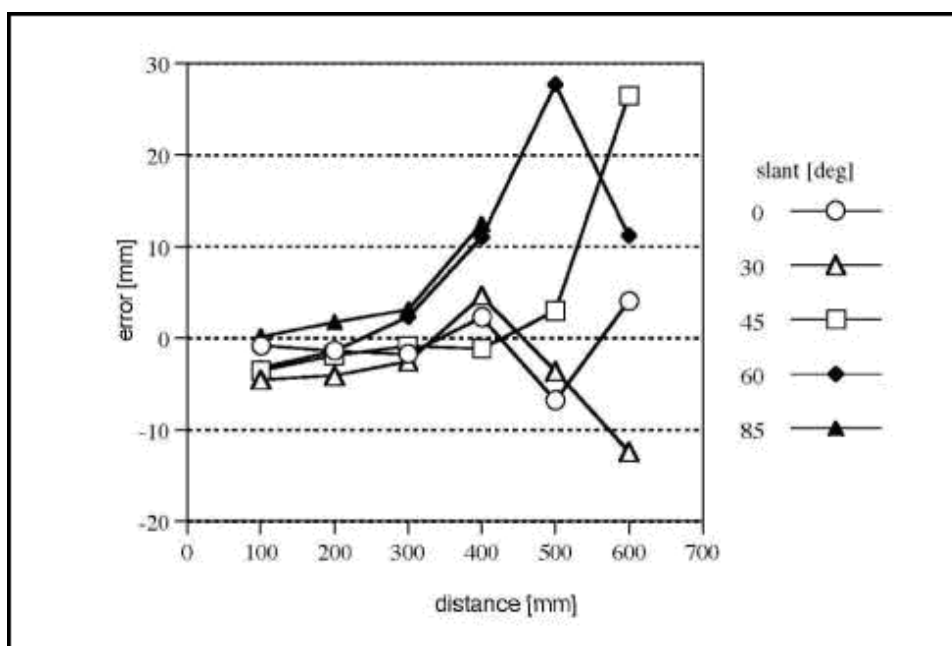
Markkeri tallennetaan PAT-päätteiseksi tiedostoksi joka sisältää matriisin. Mikäli markkeri on kaapattu suoraan videokuvasta, matriisia kannattaa korjata tekstieditorilla. Matriisi sisältää vain merkkejä 1 ja 0. Varsinkin L-markkerin matriisista on helppo huomata mahdolliset vääristymät.

3.4.4 Suorituskyky ja tarkkuus

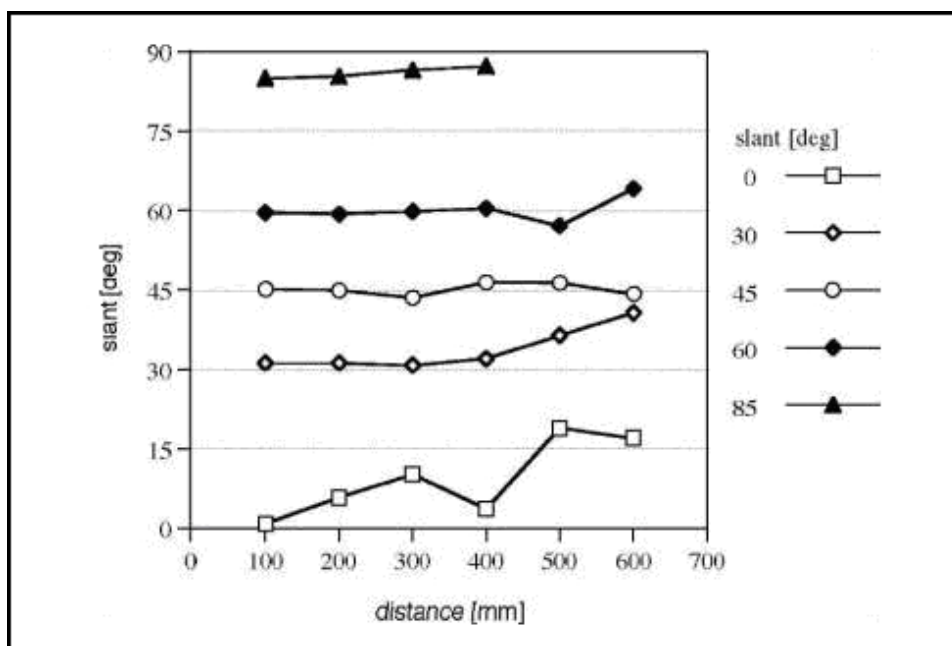
FLARToolkitillä luodut ohjelmat vaativat väistämättä paljon suorituskykyä tietokoneelta. Suurin syy tähän on ohjelman kypsyttömyys. Esimerkiksi ARToolkit on ollut olemassa yli kymmenen vuotta, kun taas FLARToolkit vasta kaksi. Jotakin on silti tehtävissä. Kaksi helpointa metodia ovat videokuvan ja markkerin koon muuttaminen. FLARToolkit käy videon läpi pikseli pikseliltä, joten pienempi resoluution videon läpikäyminen on huomattavasti nopeampaa. Myös markkerin resoluution pienentäminen nopeuttaa videokuvasta löytyneen markkerin vertaamista muistiin tallennettuun verrokkiin. Lisäksi kannattaa huomioida käytössä olevan valaistuksen luomat heijastukset ja kiillot. Markkeri kannattaa luoda mahdollisimman vähän heijastavasta materiaalista, esimerkiksi mattapintaisesta pahvista, mutta parhaaseen tulokseen päästään käyttämällä samettimaista kangasta (ARToolworks 2007b). Tällöin heijastukset eivät pääse vaikuttamaan markkerin tunnistukseen, koska markkerin pinta imee valon itseensä. Markkeri-kuvion seurannan suorituskykyyn vaikuttaa myös markkerin koko ja asento. Kuvioissa 23, 24 ja 25 on esitelty ARToolkitin alkuperäisiä virhemittauksia.



KUVIO 23. Markkerin koon vaikutus tunnistusetaisyyteen (HIT Lab 2007c, kuvioon on lisätty senttimetreit). Fyysisten markkereiden koko tulee määrittää sovelluksen käyttötarkoituksen mukaan.



KUVIO 24. Markkerin kulman vaikutus sijaintivirheeseen eri etäisyyksillä (HIT Lab 2007c. Mikäli kulma kameran linssin ja fyysisen markkerin välillä kasvaa liian suureksi, markkerin tunnistettavuus vaikeutuu.



KUVIO 25. Markkerin kulman ja etäisyyden vaikutus kulmavirheeseen (HIT Lab 2007c). Markkerin kallistuskulman kasvaessa kasvaa myös heijastusten riski, mikäli käytössä on yleinen ylhäältä suunnattu valaistus. Mikäli fyysisen markkerin pinnan mustat osat heijastuvat valkoisena, voi seurantatieto korruptoitua tai seuranta voi loppua kokonaan.

FLARToolkitin elämän alkuvaiheen suurin suorituskyvyn nostaja on Adobe'n Alchemy-tekniikka. FLARToolkit Alchemy-haaraa on kehittänyt Ryo Lizuka, joka tunnetaan myös nimellä "nyatla". ALCHEMY-versio on arviolta kaksi kertaa nopeampi kuin pelkkään ActionScriptiin perustuva versio. (Koyama 2009.) Alchemy-versio tukee opinnäytteen kirjoitushetkellä (kevät 2010) yhden markkerin tunnistamista, mutta multi-markkeri versio on odotettavissa. Joidenkin lähteiden mukaan kehitystä on hidastanut lisenssi epäselvyydet Alchemy-tekniikan kanssa (FLARToolKit userz 2010b).

Alchemy on Adobe'n tutkimusprojekti, jonka tavoitteena on nopeuttaa ActionScript ohjelmien suoritusta. Tähän pyritään mahdollistamalla C- ja C++-koodin lisääminen ActionScriptin sekaan. LLVM eli Low Level Virtual Machine lukee ActionScript 3:een yhdistetyn C tai C++-koodin ja kääntää sen yksinkertaiseksi konekieleksi. Tämän jälkeen Alchemy-kääntäjä muodostaa normaalin SWF-tiedoston, joka on huomattavasti normaalia ActionScript-tiedostoa nopeampi. SWF-tiedosto on tiedostomu-

to, joka voi sisältää erilaisia animaatioita tai tietokoneohjelmia. Tuloksena saatu AVM2-yhteensopiva ABC-koodi ei kuitenkaan ole joka osa-alueella nopeampi, vaan etu saavutetaan muistin käytössä ja funktio-kutsuissa. Funktio-kutsujen osalta suurin etu pelkkään ActionScriptin verrattuna saavutetaan, koska kutsujen parametrejä ei tarvitse pakata ja avata kuten ActionScriptissä. (Hall 2008.) AVM2 eli ActionScript Virtual Machine 2 suorittaa ActionScript Byte Coden, joka sisältää itse ohjelman SWF-tiedostoon pakattuna. C- tai C++-kieltä sisältävään SWF-tiedostoon liittyy samat turvallisuusrajoitteet, kuin pelkkää ActionScriptiä sisältävään tiedostoon ja muiltakin osin toiminta on identtistä. (Adobe 2007.)

Adoben omalla kääntäjällä tuotettu SWF-tiedosto ei ole joka tilanteessa täysin optimoitu. Jo käännetty SWF on mahdollista ajaa Joa Ebertin luoman TDSI:n läpi. TDSI nopeuttaa ohjelmaa poistamalla raskaita funktio-kutsuja ja korvaamalla ne itse kutsuttavalla toiminnolla, muodostaen inline-koodin. TDSI on osa Apparat-ohjelmisto kokonaisuutta, joka on tarkoitettu ActionScript-ohjelmien optimointiin. (Ebert 2010.)

4 TULOSTEN ESITYSSOVELLUS

4.1 Sovelluksen vaatimukset

KIHUn käyttämä liikeanalyysiohjelmisto ei tarjoa toimivaa ratkaisua valmiiden liikeanalyysien esittämiseen. Ainut toimiva vaihtoehto, mikäli esimerkiksi suorittavan urheilijan valmentaja haluaa liikeanalyysistä syntyneen mallin nähdä, on muuntaa 3D-tieto 2D-videoksi, jolloin mallin interaktiivisuus katoaa. Tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää helppo toimintamalli, jolla numeerisesta koordinaattidatasta saadaan helposti jaettava ja katseltava animoitu 3D-malli. Kolmiulotteisen mallin kontrollointi on kuitenkin normaalin 2D-datan käsittelyä haastavampaa, pääasiassa useiden akseleiden yhtäaikaisen hallinnan tarpeen vuoksi. Valmiin liikeanalyysistä syntyneen 3D-mallin pääasialliset käyttäjät eivät ole tietokonealan ammattilaisia

vaan lähempänä peruskäyttäjiä, jotka eivät välttämättä halua tai ole valmiita vastaanottamaan uusia monimutkaisia kontrolleja. Tämän vuoksi päätettiin tutkia uudenlaista käyttöliittymää, jossa perinteisten, kyseisessä kontekstissa epäloogisten, kontrollien sijaan käytetään ihmisläheisempää hallintatapaa Rikastetun Todellisuuden keinoin. Rikastettu Todellisuutta käyttävän sovelluksen lisäksi luotiin perinteisiin kontrolleihin turvaava vertailukohde.

Jotta sovellus palvelee käyttötarkoitustaan, tulee 3D-mallia pystyä katsomaan eri suunnista sekä kulmista. Liike tulee olla myös pysäytettävissä tarkempaa analyysiä varten. Visuaalisen analyysin lisäksi sovelluksen täytyy myös näyttää kontekstiin sopivia numeerisia arvoja ja piirtää niiden pohjalta erilaisia käyriä. Saman toiminnan, mutta erilaiset kontrollit, omaavat sovellukset tehtiin mahdollisimman yhteneväisiksi, jotta toiminnan eri aspektien arviointi helpottuu. Sovellukset yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi, josta voidaan valita haluttu käyttöliittymä. Tarkoituksena oli löytää kahdesta variantista toimivampi tekniikka, jota tulevaisuudessa voidaan kehittää edelleen.

Tavallista käyttöliittymää käyttävän sovelluksen 3D-malli sijoitetaan näyttöikkunan keskelle. Rikastettua Todellisuutta käyttävään ohjelmaan malli voidaan sijoittaa vapaasti. Koska jokainen analyysi voi olla erilainen ja jokaisesta halutaan tarkastella eri asioita, piirturi-ikkunoista tehtiin liikuteltavia ja niihin voidaan lisätä kulloinkin haluttu data. Ikkunat ovat puoliksi läpinäkyviä, jolloin niiden käyttö on mahdollista ilman 3D-mallien peittymistä. Käyrien piirtämiseen käytettävä data tulee sovellukseen ASCII-pohjaisina SPEED- ja ANGLE-tiedostoina, joiden ensimmäiset kaksi riviä kertovat käyrän minimi- ja maksimiarvot. Kolmas rivi kertoo datan vaihteluvälin. Tiedoston loppuosa koostuu arvo-riveistä. Arvot kertovat käyrän Y-koordinaatin kyseisellä ajanhetkellä.

4.2 Liikeanalyysi

4.2.1 Yleistä liikeanalyysistä

Urheiluun liittyvät liikeanalyysit käyttävät elokuvista ja peleistä tuttua motion capture-tekniikkaa. Motion capture tarkoittaa tekniikkaa, jossa esiintyjän suoritus tallutetaan ja sen perusteella luodaan digitaalinen malli. Elokuvissa ja peleissä motion capture säästää huomattavasti aikaa verrattuna perinteiseen animointiin. Urheilun puolella liikeanalyysillä pyritään etsimään ja korjaamaan urheilijoiden mahdollisia tekniikkavirheitä. (Roetenberg 2006.)

Liikeanalyysistä puhuttaessa markkeri tarkoittaa seurattavaa ja analysoitavaa kiintopistettä, joka on joko fyysinen merkki, kehonosa tai nivelpiste. Jotsei Rikastetussa Todellisuudessa käytettävä markkeri sekoitu liikeanalyysin markkeriin, käytetään termiä analyysimarkkeri.

Liikeanalyysi- ja motion capture-laitteistot voidaan jakaa optisiin, mekaanisiin, magneettisiin ja kiihtyvyyteen perustuviin järjestelmiin. Optiset järjestelmät käyttävät useita videokameroita, joiden kuvista tunnistetaan analyysimarkkerit, pelkistään kehonosat tai nivelpisteet. Analyysimarkkerit voivat olla passiivisia, eli valoa heijastavia, tai aktiivisia, jolloin ne lähettävät valoa. Mekaaninen järjestelmä koostuu yleensä antureita sisältävästä luurankopuvusta, jonka esiintyjä pukee ylleen. Esiintyjän liikkuessa myös mekaaniset osat liikkuvat ja anturit tallentavat esiintyjän suhteellisen liikkeen. Magneettinen järjestelmä mittaa magneettivuon muutoksia jokaisessa seurattavassa pisteessä. Esiintyjä liikkuu sähkömagneettikentässä, jolloin vastaanottimina toimivat seurantakohteet tarkkailevat suhteellisen jännitteen vahvuutta jokaisella akselilla. Jännitteen vahvuuden perusteella järjestelmä laskee kohteiden sijainti ja kallistustietoja. (Roetenberg 2006.)

4.2.2 Ariel Performance Analysis System

KIHUn käyttämä APAS-ohjelmisto on videopohjainen liikeanalyysijärjestelmä. Ariel Performance Analysis System, eli APAS on Ariel Dynamics-yhtiön 40-vuoden kehitystyön tulos. APAS sisältää moduulit datan keräämiseen, analysointiin ja paikalliseen esitykseen. APAS-ohjelmiston alkuperäinen käyttötarkoitus oli urheilututkimus, mutta se on laajentunut kattamaan muun muassa tuotetestausta ja suunnittelua. (APAS 2009.)

Tyypillinen APAS-ohjelmistolla suoritettava liikeanalyysi koostuu neljästä vaiheesta, joita ovat kuvaus, digitointi, 3D-koordinaattien laskeminen ja tulosten esittäminen. Vaiheista ensimmäinen on materiaalin keräys, eli kohteen videoiminen. Kuvaukseen voidaan käyttää useita kameroita, mutta KIHU:lla käytössä on yleensä vain kaksi kameraa, jotka ovat toisiinsa nähden 90 asteen kulmassa. Analysoitava alue kalibroidaan lisäämällä näkymään 8–30 kontrollipistettä, joiden ei tarvitse olla näkyvissä itse suoritusta kuvattaessa. Ennen kuvausta kontrollipisteiden etäisyydet toisiinsa nähden mitataan. Kuvaavien kameroiden ei tarvitse olla erikseen synkronoituja toisiinsa, vaan tahdistukseen riittää kaikissa kameroissa näkyvä tapahtuma, esimerkiksi valon välähdys.

Kuvauksen jälkeen videomateriaali tuodaan APAS-ohjelmistoon digitointia varten. Digitoinnissa esiintyjän kehon nivelpisteet tai kehonosat merkitään jokaiseen videon kuvaruuduista. Mikäli esiintyjän analysoitaviin kohtiin on kiinnitetty näkyvät analyysimarkkerit, voidaan digitointi suorittaa myös automaattisesti (ks. kuvio 26). Koska suurin osa analysoitavista videoista on aidoista kilpailutilanteista, ei fyysisiä analyysimarkkereita ole ja analyysi täytyy suorittaa manuaalisesti. Kun jokainen haluttu piste on merkitty molempien kameroiden kuvista, laskee APAS 3D-koordinaatit, joissa kukin nivelpiste tai kehonosa sijaitsee. Mikäli datan digitoinnissa on tapahtunut pieniä virheitä, APAS osaa korjata ne tasoittamalla eri kuvien välisten analyysimarkkereiden sijaintitietoja. Valmiin analyysidatan APAS toistaa tikku-ukko malleina, joihin voidaan yhdistää nopeus- ja kulmatietoja. Esitys voi-

daan tallentaa joko video-tiedostoksi, tai analyysimarkkereiden sijainnit 3D-maailmassa voidaan siirtää tekstinkäsittely- tai taulukkolaskentaohjelmaan. (APAS User's Manual.)



KUVIO 26. Liikeanalyysi aloitetaan kalibroimalla analysialue. Esiintyjä videoidaan, jonka jälkeen analyysiin tarvittavat kehonosat merkitään tietokoneella.

4.2.3 Liikeanalyysin tiedostomuodot

Liikeanalyysiohjelmien tekijät ovat pitkään käyttäneet omia tiedostomuotojaan, jotka eivät ole olleet keskenään yhteensopivia. Viime aikoina on kuitenkin yleistynyt muutamien suosituimpien tiedostomuotojen käyttö, mikä mahdollistaa eri sovellusten yhteensopivuuden. Suosituimmat liikeanalyysin tiedostomuodot ovat C3D- ja BVH-tiedostot.

Andrew Dainisin kehittämä C3D-formaatti on ollut käytössä jo vuodesta 1987 ja lähes jokainen liikeanalyysi- ja 3D-mallinnusohjelma tukee sen käyttöä. APAS käyttää 3D-tiedostoa, joka on muutamia rivejä lukuunottamatta C3D-tiedoston kaltainen. APASin käyttämää tiedostoa saatetaan pystyä hyödyntämään sellaisenaan tulevaisuuden 3D-mallinnusprojekteissa, mutta tällä hetkellä APAS-järjestelmästä saatava tekstipohjainen koordinaattidata joudutaan konvertoimaan, joko C3D- tai CSM-tiedostoksi.

CSM-tiedosto sisältää nivelpisteiden ja ruumiinosien X-,Y- ja Z-koordinaatit eri ajan hetkillä ja tiedostomuotoa käytetään 3ds Max -mallinnusohjelmassa. Työkaluja APAS-ohjelmasta saatavan ASCII-tiedon konvertoimiseen C3D-formaattiin löytyy C3D-formaatin kotisivuilta. Muunnettaessa ASCII-dataa CSM-tiedostoksi, muunnos tehdään tekstieditorilla ja taulukkolaskentaohjelmalla. C3D-tiedostoon voidaan tallentaa jokaista liikeanalyysin liittyvää dataa, muun muassa tietoja käytetystä analyysimarkkeri-konfiguraatiosta, analyysimarkkerien sijaintidataa, sekä erilaisia analogitietoja. Koska C3D-tiedosto ei ole riippuvainen mistään ohjelmistovalmistajasta, on tiedostomuodon muokkaaminen omiin tarkoituksiin helppoa. (C3D 2010.)

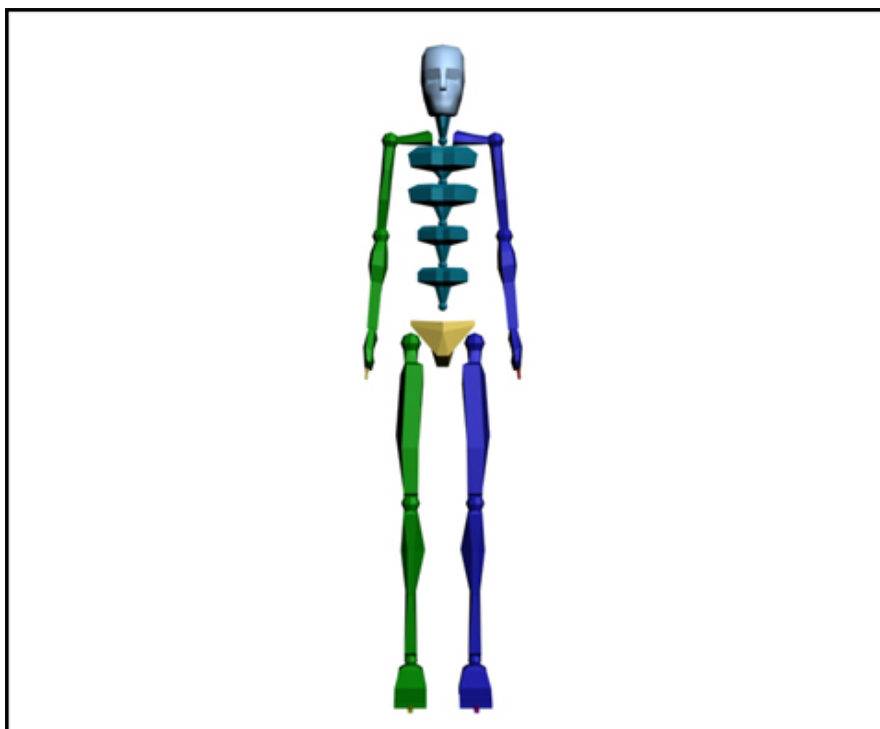
Toinen yleisesti käytetyistä formaateista on Biovisionin luoma BVH-tiedosto. BVH-tiedosto sisältää liikedatan lisäksi hierarkista informaatiota, jonka avulla voidaan luoda luurankomalli. Valmiin luurankomallin ansiosta formaatti on todella monipuolinen ja yhteensopiva useiden ohjelmistojen kanssa. (Thingvold 1999.) Tällä hetkellä ei löydy yksiselitteistä tapaa, jolla APAS-data voitaisiin konvertoida BVH-tiedostoksi.

4.3 3ds Max

4.3.1 Mallin tarpeet ja rajoitteet

Autodesk 3ds Max on 3D-mallinnusohjelma, jonka avulla sovelluksen vaatimat 3D-hahmot mallinnettiin. Opinnäytetyön tekemisen aikaan (kevät 2010) ohjelman uusin versio on 12.0 joka tunnetaan myös nimellä 3ds Max 2010. Täysin Windows 7:n kanssa yhteensopiva versio on Autodesk 3ds Max 2011, joka julkaistaan keväällä 2010. Aiemmin ohjelma tunnettiin nimillä 3D Studio ja 3D Studio MAX. DOS-pohjainen 3D Studio julkaistiin vuonna 1990 ja Windowsille suunnattuna MAX-versiona vuonna 1996. (Wikipedia 2010b.)

Autodesk 3ds Max valittiin mallinnusohjelmaksi Character Studio-ominaisuuden vuoksi. Vanhemmissa 3ds Maxin versioissa Character Studio oli erillinen liitännäinen, mutta versiosta 4 alkaen se on ollut perusosa. Character Studion kätevin ominaisuus on Biped, ihmistä esittävä luuranko, jota on todella helppo animoida (ks. kuvio 28). Bipedin, eli kaksijalkaisen, kaikki luut ovat valmiiksi linkattu toisiinsa ja niiden liikeradat on rajoitettu vastaamaan oikeaa ihmiskehoa. Bipediin voidaan ladata liikedataa CSM- tai BVH-formaatissa. Autodesk 3ds Maxista on myös ilmaisversio Gmax, mutta siitä puuttuu Character Studio-ominaisuus. (Murdock 2005, 867.)



KUVIO 27. Kaksijalkainen Biped-luuranko nopeuttaa mallinnusta. Mikäli haluttavan 3D-mallin kehon osien tarkkoja mittoja ei ole saatavilla, ei Biped ole kovin tarkka työkalu.

Liikeanalyysin esitysovelluksessa käytettävän 3D-mallin tuli olla tarpeeksi näyttävä, mutta samalla myös erittäin yksinkertainen, jotta esitysovellus pystyisi sitä käyttämään. Sovellusta testatessa tuli selväksi, ettei mallin esittämiseen voi käyttää yhtään tarvittua enempää resursseja, FLARToolkitin syödessä kaiken vapaana olevan tehon. Lisäksi mallinnusprojektin aikana selvisi, ettei tulevaisuudessa tulla

käyttämään Autodesk 3ds Maxia, vaan Open Source-lisensioitua Blenderiä. Blender on harrastajien kehittämä monipuolinen 3D-mallinnusohjelma. Näin ollen näyttävyyks uhrattiin toimivuuden edessä ja malleista tehtiin kevyitä ja yksinkertaisia. Yksinkertaiset mallit sisältävät noin 700 verteksiä. Kevyiden mallien lisäksi liikeanalyysi data liitettiin artist-3d.com-sivustolla ilmaiseksi jaettavaan luurankomalliin. Tietokoneen suorituskykyrajoja hipova 3D-malli sisältää noin 3500 verteksipistettä.

Suurimmat ongelmat mallinnuksessa syntyivät liitettäessä 3D-mallia luurankoon. Toimenpide suoritettiin Physique-modifierilla. Toinen mahdollisuus on käyttää Skin-modifieria, mutta Physiquea käytettäessä nivelten päällä oleva iho taittuu paremmin. Tästä huolimatta taitokset ovat ongelmallisia vaihdettaessa urheilulajia. Keihäänheitolle optimoitu 3D-hahmo vääntäytyy erikoisiin asentoihin, mikäli siihen liitetään tenniksenpelaajasta kaapattua liikedataa. Oman osansa virheasentoihin voi tuoda myös digitointivirheet, mutta on silti kannattavaa käyttää eri urheilulajeille optimoituja 3D-malleja.

4.3.2 Liikedatan sovitus ja analysointi

CSM eli Character Studio natiivi liikedataformaatti on ASCII-tiedosto, joka muistuttaa APAS-ohjelmasta saatavaa dataa. Tuotaessa CSM-dataa 3ds Max -ohjelmaan, ajan mukaan muuttuvat X-, Y- ja Z-koordinaatit muunnetaan automaattisesti rotaationaaliseen formaattiin, joka liitetään Biped-luurankoon. Biped vaatii tietyt markkerit toimiakseen. (Character Studio.) Bipedin vaatimat markkerit edustavat tyypillistä markkeri-settiä, mutta jokaista markkeria ei KIHUn materiaalista löydy. Tämän vuoksi osa nivelpisteistä täytyy laskea olemassa olevista nivelpisteistä. Lisäpisteiden laskemista varten luotiin MS Excel -taulukko, joka tuottaa lähes valmiin CSM-tiedoston, muuttaen myös yksiköt vaadituiksi millimetreiksi. Markkereiden puuttumisen lisäksi jokainen liikeanalyysitiedosto voi olla erilainen, sisältäen eri määrän nivelpisteitä, jolloin keihäänheittäjille suunniteltu Excel-taulukko ei toimi kaikissa tilanteissa. Epästandardin datan vuoksi Biped ei ole tarkoitukseen opti-

maalinen työkalu. Bipedin hyviin puoliin kuuluu datan skaalattavuus, jolloin samaa liikedataa voidaan käyttää useissa erilaisissa luurangoissa (Bonney 2005, 488).

Parhaassa tilanteessa mallinnettavan urheilijan raajojen mitat ovat tiedossa, mutta koska KIHUn liikeanalyysit tehdään kilpailutilanteista kuvatuista videoista, ei tarkkoja mittoja ole saatavilla. Raajojen mitat on arvioitu noin 185 cm pitkän miehen mukaan. Kaikki 12 tarvittavaa mittaa syötetään suoraan CSM-tiedostoon millimetreinä tai tuumina. Valittu mittayksikkö tulee määrittää CSM-tiedoston Talent-osiossa. Kehonosat tulee nimetä alla oleva esimerkin mukaan. (Character Studio.)

Kehonosien tarvittavat mitat ovat:

HEAD_LENGTH, mitataan pään päältä leuan alalaitaan.

NECK_LENGTH, mitataan pään päältä selkärangan yläpäähän.

CLAV_LENGTH, kertoo solisluun pituuden.

UPPERARM_LENGTH, on pituus olkapäästä kyynärpäähän.

LOWERARM_LENGTH, mitataan kyynärpästä ranteeseen.

TORSO_LENGTH, on selkärangan pituus.

PELVIS_HEIGHT, on lantion korkeus.

PELVIS_LENGTH, on oikean ja vasemman lonkan välimatka.

UPPERLEG_LENGTH, mitataan lonkasta polveen.

LOWERLEG_LENGTH, mitataan polvesta nilkkaan.

FOOT_HEIGHT, mitataan nilkasta jalanpohjaan.

FOOT_LENGTH, on jalkaterän pituus ilman varpaita.

3ds Maxin Talent Figure-tilassa mittoja voidaan vielä korjata, mikäli luut eivät osu markkerien kohtiin. Ongelmasta päästään eroon luomalla luuranko erillisistä luista, jotka venyvät automaattisesti markkerien mukaan. Mikäli tulevaisuudessa käytetään Blenderiä, liikedatan ja luiden yhdistäminen tehdään edellä mainitulla tavalla, jolloin malleista saadaan tarkempia. Koska valmiita malleja käytetään visualisoimaan liikeanalyysin tuloksia, mallit arvioitiin ainoastaan visuaalisesti vertaamalla niitä alkuperäiseen suoritusvideoon kuvion 28 mukaisesti. Mikäli vertailu halutaan

tehdä tarkemmin, voidaan valmis 3D-malli viedä uudelleen liikeanalyysiohjelmaan ja verrata 3D-mallista ja alkuperäisestä videosta saatuja sijaintitietoja.



KUVIO 28. Alkuperäisen videon vertaus Biped-luurankoon. 3D-mallin ja alkuperäisen suorituksen eroja vertailtiin silmämääräisesti. Mikäli tarvitaan todella tarkasti alkuperäisen kaltaista 3D-mallia, voidaan validointi suorittaa muuntamalla valmis 3D-animaatio videotiedostoksi, jonka jälkeen suoritetaan liikeanalyysi 3D-mallille. Kehon osien numeraalisia sijaintitietoja voidaan analyysin jälkeen verrata 3D-videon ja alkuperäisen suorituksen välillä.

CSM-tiedostoon tulee määrittää eri ruumiinosien ja nivelpisteiden esiintymisjärjestys. Järjestys on vapaavalintainen, mutta varsinaisen liikedatan tulee olla samassa järjestyksessä. Liikedata on jaettu ajanhetkittäin, jolloin jokaisella rivillä esiintyy jokaisen ruumiinosan tai nivelpisteen X-, Y- ja Z-koordinaatit, käyttäjän määrittämässä järjestyksessä. Mikäli koordinaatti-data puuttuu joltakin ruumiinosalta tai nivelpisteeltä, kompensoidaan puute sanalla ”dropout”, jolloin X-, Y- ja Z-koordinaatit korvataan kyseisen ajanhetken ajaksi. (Character Studio.)

4.3.3 Collada

Liikedatan sisältävät 3D-mallit muunnetaan DAE-päätteisiksi COLLADA:n määrittämiksi XML-tiedostoiksi. DAE on lyhenne sanoista Digital Asset Exchange. COLLADA, COLLABorative Design Activity, on Sony Computer Entertainmentin kehittämä formaatti, jonka tarkoituksena on toimia helppona keinona siirtää dataa sisällönluontiohjelmien välillä. Nykyään COLLADA on Khronos Groupin omaisuutta. (Collada 2008.)

Toinen mahdollisuus 3D-mallien viemiseksi Papervisionia käyttävään sovellukseen on Quake II-pelin käyttämä MD2-formaatti. Tähän työhön DAE valittiin selkeämpien ohjetekstien ja laajemman levinneisyyden vuoksi. NetAllied Systemsin kehittämä OpenCOLLADA, export-laajennus 3ds Maxiin, oli mallinnushetkellä (kevät 2010) ainut plugin joka oli yhteensopivaa 3ds Max 2010 kanssa (OpenCollada 2009).

Ennen 3D-mallin exporttausta täytyy mallin alkupiste siirtää 3D-maailman origoon. Tällöin esitettäessä 3D-mallia Rikastetun Todellisuuden keinoin, sijoittuu malli seurantamarkkerin keskikohtaan. Valmiista DAE-tiedostosta täytyy lisäksi tarkistaa ”<animation>”-tagi, jonka sisältä tulee löytyä ”id”-attribuutti, jotta Papervision osaa koostaa animaatoraidan.

4.4 Adobe Flash

4.4.1 Yleistä ActionScriptistä

ActionScript 3 valittiin opinnäytetyöprojektin ohjelmointikieleksi sen suuren suosion ja kehittäjäryhmän avoimuuden vuoksi. Lähes kaikki ActionScriptillä ohjelmoidut sovellukset ovat avoimen lähdekoodin sovelluksia. Lisäksi ActionScript 3 -kielisten ohjelmien tuki löytyy 96,1 % eurooppalaisista tietokoneista (Adobe 2010). ActionScript perustuu ECMAScript-standardiin ja se on läheistä sukua JavaScriptille. ActionScript kehitettiin alun perin kontrolloimaan yksinkertaisia animaatioita, mutta erityisesti kielen kolmas versio mahdollisti myös monipuolisen ohjelmoinnin. Adobe osti kielen alkuperäisen kehittäjän, Macromedian, vuonna 2005. ActionScript on erityisen suosittu pienten selaimessa pelattavien pelien kehityksessä, mutta myös erilaisissa videoidenkatselu-palveluissa. (Wikipedia 2010c.)

ActionScriptin alkuperäinen kehitystyökalu, Flash, on saanut rinnalleen myös muita kehitykseen sopivia työkaluja, kuten Adobe Flash Builder ja ilmainen vaihtoehto FlashDevelop. Adobe Flash Builder tunnettiin versioon 4 asti nimellä Adobe Flex. Adobe Flash Builder on Eclipse-alustalle rakennettu maksullinen kehitysympäristö. (Wikipedia 2010d.) Projektin alkuperäinen ohjelmointityökalu vaihtui projektin alussa Adobe Flash CS4:stä, Adobe Flash Builderiin. Syynä vaihtoon on Adobe Flash CS4:ssä oleva bugi, joka estää FLARToolkitin kääntämisen (Adobe 2008). Lopulta ohjelmointityökalu vaihtui takaisin Flash CS4:ään bugin kiertämisen mahdollisuuden vuoksi.

4.4.2 Papervision3D

Alun perin Carlos Ulloan kehittämä Papervision on kuuluisin ActionScriptille tarkoitettu 3D-moottori. Kirjaston kehittäminen aloitettiin vuonna 2005 ja se julkaistiin yleisölle kesällä 2007. Ohjelmaluokkia kehittää pieni ydinryhmä, mutta myös yhtei-

sön tuki on Papervisionille tärkeää. Papervision on avointa lähdekoodia ja sen käyttö on ilmaista myös kaupallisissa sovelluksissa. (Lindquist 2010.)

FLARToolkit sisältää apuluokan Papervisionin käyttämiseen, joten kirjastot sulautuvat helposti yhteen. Lisäksi Papervision tukee luiden käyttöä Collada-formaatissa. Täten 3ds Max ohjelmasta saatavat 3D-mallit ovat suoraan yhteensopivia Papervisionin kanssa. Papervisionilla on myös useita tasokkaita kilpailijoita, kuten Away3D ja Sandy3D, mutta dokumentaation ja esimerkkisovellusten määrä on Papervisionilla suurin.

Papervision on komponenteista se, joka piirtää halutut 3D-mallit. 3D-mallin rakenne syötetään 3D-moottoriin DAE-tiedoston muodossa, jota Papervision käyttää eräänlaisena rakennusohjeena. FLARToolkit kertoo Papervisionille mihin kohtaan ja mihin asentoon 3D-malli piirretään.

4.4.3 Flarmanager

Yksi suurimmista haasteista, kehitettäessä sovelluksia FLARToolkitin avulla, on tiedon puute loppukäyttäjän valaisuolosuhteista. FLARManager antaa mahdollisuuden käyttää valaistukseen sopeutuvia menetelmiä, jotka parantavat markkerin tunnistustarkkuutta. FLARToolkitin staattinen threshold-arvo muuttuu FLARManageria käytettäessä valaistuksen mukaan. Lisäksi mikäli markkeria ei ole tunnistettu, kokeilee FLARManager myös muita threshold-arvoja markkeria etsittäessä. FLARManager pystyy myös rajoitetusti parantamaan FLARToolkitin suorituskykyä vaikuttamalla analysoitavaan ja näytettävään kuvaan. FLARToolkitin eniten prosessointiaikaa vaativa toimi on havaittujen yhtenäisten mustien alueiden merkitseminen, jota voidaan nopeuttaa pehmentämällä kuvaa, jolloin yhtenäiset alueet kasvavat. (Socolofsky 2009a.)

FLARManager jalostaa FLARToolkitin toimintaa lisäämällä tapahtumapohjaisen järjestelmän markkerien lisäämiseen, poistamiseen ja päivittämiseen. Tapahtumapohjaisuus FLARManagerissa tarkoittaa toimintaa, jolloin käyttäjän teot ajavat ohjelmaa eteenpäin. Käyttäjän toimet rajoittuvat markkeri-kuvion lisäämiseen, poistamiseen ja liikuttamiseen. Ohjelman osat ovat jaettu tapahtuman tunnistamiseen ja siitä seuraavaan toimintaan. FLARManager tukee myös useiden markkerien tunnistamista, mutta mitä useampi markkeri on etsittävänä, sitä hitaammaksi ohjelman suoritus muuttuu. Käytettäessä FLARManageria FLARToolkitin käyttämien asetusten muuttaminen tapahtuu SWF-tiedostoa helpommin muokattavasta XML-tiedostosta. (Socolofsky 2009b.) Asetustiedosto on jaettu neljään pääosaan ja niiden attribuutteihin. Asetusattribuutit muokkaavat FLARToolkitin toimintaa muun muassa optimoimalla analysoitavaksi lähetettävän videon kokoa. Tärkeimpien asetusttribuuttien merkitykset on lueteltu seuraavana. KIHUn tarpeisiin räätälöity asetustiedosto attribuutteineen ja arvoineen löytyy liitteestä 1.

Tärkeimmät flarSourceSettings-asetukset ovat:

sourceWidth, määrittää sisään otettavan videon kaappausleveyden pikseleinä.
sourceHeight, määrittää sisään otettavan videon kaappauskorkeuden pikseleinä.
displayWidth, määrittää näytettävän videon leveysresoluution pikseleinä.
displayHeight, määrittää näytettävän videon korkeusresoluution pikseleinä.
framerate, määrittää montako kuvaruutua kaapataan sekunnissa.
downsampleRatio, määrittää kuinka paljon videon laatua huononnetaan ennen sen lähettämistä FLARToolkitin analysoitavaksi. Pienempi arvo nopeuttaa analyysiä, mutta samalla heikentää markkerin tunnistamisen varmuutta.

Tärkeimmät flarManagerSettings-asetukset ovat:

mirrorDisplay, määrittää onko esitettävä videokuvan ja 3D-objektien komposiitti käännetty peilikuvaksi.
smoothing, määrittää kuinka paljon FLARToolkitin laskemien sijaintitietojen eroavaisuuksia tasoitetaan eri kuvien välillä.

sampleBlurring, määrittää kuinka paljon FLARToolkitille analysoitavaksi lähetettävää kuvaa pehmennetään. Suurempi pehmennys nopeuttaa analyysiä, mutta tekee markkerin tunnistamisesta epävarmempaa.

markerUpdateThreshold, määrittää kuinka kaukana havaittu markkeri saa olla edellisellä kerralla havaitusta markkerista. Mikäli markkeri on arvon määrittämän alueen sisällä, sitä käsitellään vain edellisen havainnon päivityksenä. Mikäli havaittu markkeri on alueen ulkopuolella, sitä käsitellään uutena markkerina.

markerRemovalDelay, määrittää ajan jonka kuluttua 3D-malli poistetaan näytöltä FLARToolkitin hukattua markkerin. Mikäli FLARToolkit löytää markkerin uudelleen ennen ajan umpeutumista, 3D-mallia ei poisteta näytöltä.

markerExtrapolation, määrittää jatketaanko liikkuvan 3D-mallin liikettä mikäli FLARToolkit kadottaa markkerin.

thresholdAdapter, muuttaa tapaa, jolla kaapattu kuva käsitellään ennen markkerin etsintää. Auttaa erityisesti olosuhteissa joissa valaistus ei ole etukäteen tiedossa. Adapteri voidaan myös ohjelmoida itse.

cameraParamsFile-asetus:

path, määrittää FLARToolkitin käyttämän kameran asetustiedoston sijainnin. Kameran asetustiedosto tarvitaan, koska jokainen kamera on erilainen. Tiedosto sisältää tiedot joilla kompensoidaan linssin kaarevuudesta johtuvia virheitä (Kato 2006). Kameran asetustiedoston luontiin löytyy ohjelmia, muun muassa ARToolkitistä, mutta yleensä FLARToolkitin mukana jaettava tiedosto toimii tarpeeksi hyvin.

Tärkeimmät patterns-asetukset:

resolution, määrittää markkerien resoluution. Resoluutio valitaan pattern-tiedostoa tehtäessä. Koska markkerit ovat neliön muotoisia, on pysty- ja vaaka-resoluutio sama.

minConfidence, on se raja-arvo, joka tunnistusalgoritmin tulee ylittää verratessaan löydettyä markkeria muistin vertailukohteeseen. Pienempi arvo auttaa markkerien tunnistuksessa, mutta myös mahdollistaa väärin markkerien tunnistamisen.

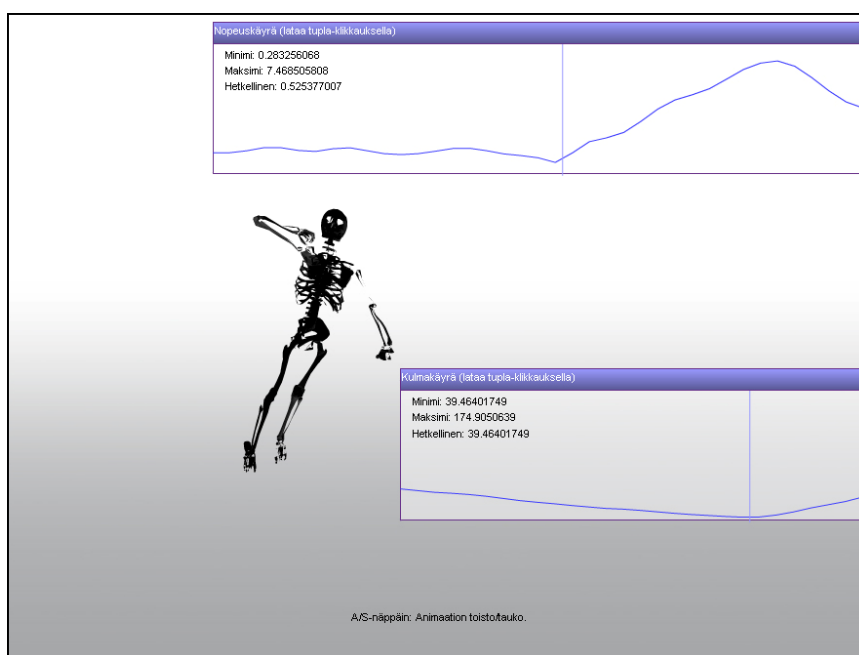
pattern path, kertoo PAT-päätteisen vertailukohteen sijainnin. Jokaisella etsittäväällä markkerilla pitää olla määritettynä oma vertailutiedosto. (Socolofsky 2009b.)

5 TULOKSET

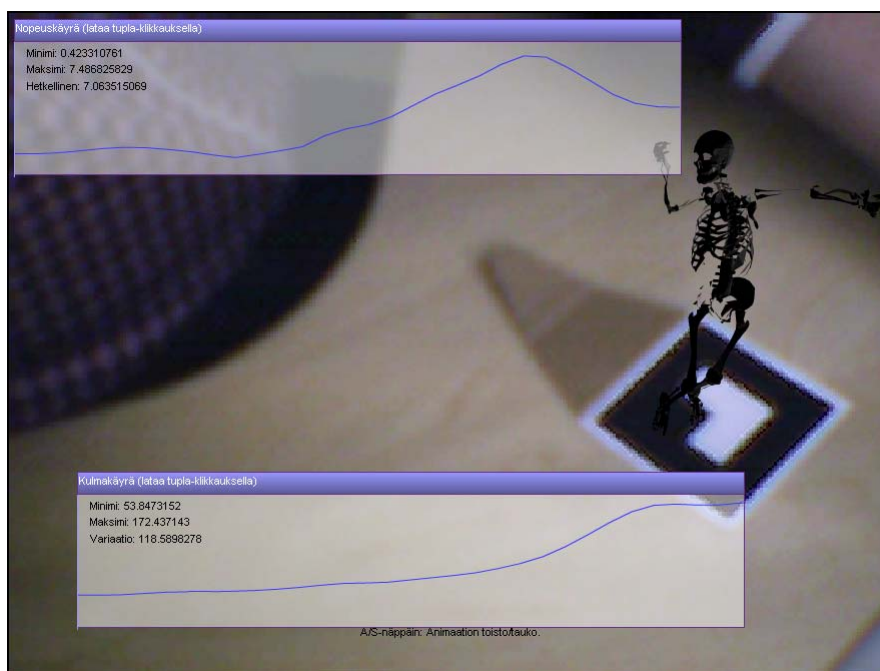
Liikeanalyysitiedostojen muunto 3D-malleiksi Character Studion Biped-luurankoa käyttäen ei ole optimaalisen tarkkaa, johtuen tarkkojen raajamittojen puuttumisesta. Sijainnin osalta virhettä ei juuri ole, mutta kulma-arvot saattavat joissakin tapauksissa heittää kymmeniä asteita. Yleisin virheen aiheuttaja on liian pitkät tai lyhyet alaraajat, jotka koskevat virtuaalisen maan pintaan väärään aikaan, jolloin polvinivelen on pakko taittua. Tästä huolimatta Bipedin käyttö on nopeaa ja vaivatonta, mikäli täysin tarkkaa mallinnusta ei tarvita. Tällöin epätarkkaa mallinnusta voidaan korjata esittämällä mallin ohella myös numeerista dataa eri raajojen kulmista ja nopeuksista. Mikäli 3ds Max -ohjelmiston Biped-luurankoa halutaan käyttää mallien luontiin, tulee kehittää tapoja mitata raajojen pituuksia joko mittamalla ne kyseiseen analyysiin liittyvästä videotiedostosta tai laskemalla mitat suoraa paikkadatasta.

3ds Max ei ole edullinen ohjelmisto, joten jos ohjelmiston ainut käyttötarkoitus on liikeanalyysi datan käsittely, on parempi vaihtoehto tutkia Open Source-pohjaista Blender-ohjelmistoa. Alustavien Blender-tutkimusten mukaan Blenderin käyttö on hieman työläämpää, mutta se ehkäisee raajakulmien vääristymät, mikäli luuranko on rakennettu toisistaan riippumattomista luista. Ainoa ongelmia aiheuttava aspekti saattaa olla datan exporttaus Blender-ohjelmistosta. FLARToolkit on suhteellisen tarkka hyväksymästään tiedostoformaattista ja erilaiset Collada-exportterit tuottavat hieman eri tavalla jäsenneltyä dataa. Yleensä eroavaisuudet ovat kuitenkin niin pieniä, että ne on helppo poimia ja korjata ASCII-muotoisesta DAE-tiedostosta.

Perinteisen käyttöliittymän (ks. kuvio 29) ja Rikastetun Todellisuuden-sovelluksen (ks. kuvio 30) eroja arvioitiin neljän eri käyttäjän mielipiteiden perusteella. Arvostelukohteita olivat käytettävyys, näyttävyys, toimintavarmuus, mielenkiintoisuus, tuloksellisuus, muistettavuus ja hallittavuus. Testikäyttäjiksi valittiin kaksi miestä ja kaksi naista. Käyttäjistä yksi nainen ja yksi mies edustivat noin 40-vuotiaiden ikäryhmää ja toiset koehenkilöt noin 25-vuotiaiden ikäryhmää. Testitilanteessa koehenkilöt suorittivat neljä testiä. Kahdessa ensimmäisessä kokeessa käyttäjälle kerrottiin ohjeita koko testin ajan. Ensimmäisissä kokeissa kokeiltiin perinteistä, sekä RT-käyttöliittymää kevyiden mallien avulla. Viimeisissä kokeissa käyttäjää ei ohjattu ja käytössä oli raskaammat luuranko-mallit. Käyttöliittymien eroja arvioitiin liitteen 2 mukaisella lomakkeella.



KUVIO 29. Perinteisellä käyttöliittymällä toteutettu analyysin esitysovellus. Sovellusta ohjataan hiiren ja näppäimistön avulla. Sovelluksen toimintanopeus on RT-sovellusta huomattavasti korkeampi.



KUVIO 30. Rikastetun Todellisuuden avulla toteutettu analyysin esitysovellus. 3D-objektit tottelevat mustavalkoisia seurantakuvioita, eli markkereita. Sovelluksen valikoissa suoritettavat valinnat tehdään kuitenkin vielä hiiren avulla.

Tutkimuspalautteen perusteella ryhmän naispuoliset testaajat pitivät Rikastetun Todellisuuden sovelluksesta miespuolisia koehenkilöitä enemmän. Testauksen aikana jaetuissa pisteissä perinteisen käyttöliittymän sovellus voitti jokaisen osa-alueen lukuun ottamatta sovelluksen näyttävyttä. Pisteet näyttävydestä jakautuivat yhteenlasketuissa pisteissä 11–9 RT-sovelluksen eduksi. Käytettävyttä arvioitaessa pisteet olivat 13–10 perinteisen käyttöliittymän eduksi. Toimintavarmuus oli RT-käyttöliittymän suurin kompastuskivi mallin kadotessa näytöltä markkeria liikuttaessa. Myös hallittavuus toimi paremmin hiirtä käytettäessä ja perinteinen käyttöliittymä voitti molemmilla osa-alueilla neljällä pisteellä. Mielenkiintoisuus ja tuloksellisuus olivat käyttöliittymillä samaa tasoa pisteiden jakautuessa 13–13 mielenkiintoisuuden osalta ja 12–11 tuloksellisuudessa perinteisen käyttöliittymän eduksi.

Testin mielenkiintoisin tulos saatiin ohjaustapojen muistettavuuden ja oppimisen saralla, RT-tekniikan hävitessä 17–14. Selvästi nykyihminen on sovittanut toimintamallinsa niin tiiviisti tietokoneen vaatimaan malliin, ettei hiirtä käyttöliittymänä

ole helppo voittaa. Yhteenvedona tuloksista voidaan päätellä, että RT-tekniikka vaikuttaa mielenkiintoiselle ja mahdollisuuksia täynnä olevalle käyttöliittymävaihtoehdolle, mutta tekniikan pinnalla olostu huolimatta se ei vielä täytä jokaista toimivalle tekniikalle asetettua vaatimusta. Toimintavarmuuden osalta on vielä paljon parannettavaa. Testin tulokset on koottu kuvaajaan, joka löytyy liitteestä 3.

Menetelmä liikeanalyysin tietojen prosessointiin löydettiin, mutta toimintaa voidaan vielä tulevaisuudessa optimoida. Valmiin 3D-mallin valmistus alkaa Excel-tilukosta, jossa lasketaan tarvittavat lisätiedot. Excel-tilukon data tallennetaan CSM-tiedostoksi, joka ladataan 3ds Max-ohjelmassa Biped-luurankoon. Biped tallennetaan BIP-tiedostoksi, joka ladataan edelleen toiseen Biped-luurankoon, jolloin luurangon vääristymät vältetään. Biped yhdistetään 3D-malliin ja paketti muunnetaan DAE-tiedostoksi, jota analyysin tulosten katseluohjelma osaa esittää.

Ensimmäinen askel liikeanalyysi datan muunnosprosessin kehittämisessä on Blenderin käyttöönotto. Blenderin avulla 3D-mallit saadaan vastaamaan tarkemmin alkuperäistä suoritusta, eikä Biped-luورانon vaatimuksia nivelpisteiden suhteen ole. Täten voidaan käyttää myös vajaita liikeanalyysseja, joissa on analysoitu esimerkiksi vain käden liike. Sama voidaan toteuttaa myös 3ds Maxissa, mutta Blenderin ollessa ilmainen ja Maxin maksaessa tuhansia euroja, on siirtyä kannattava.

Tulevissa mallinnuksissa tullaan myös ottamaan huomioon urheilijoiden mahdolliset suoritusvälineet, jolloin on luultavasti viisainta luoda yleisimmät liikeanalyysin kohdelajien urheilijat 3D-malleina, joihin jokaiseen voidaan liittää lajiin kuuluva väline. Tavoitteena on helppo datan liittäminen ja mikäli jokaiselle lajille löytyy valmiiksi optimoitu 3D-malli, nopeutuu muunnosprosessi huomattavasti. Mikäli polygonimäärät saadaan pidettyä alhaisina, voidaan DAE-tiedostoihin liittää myös suorituspaikkojen 3D-mallit.

DAE-tiedoston luominen on tälläkin hetkellä suhteellisen nopeaa, mutta tulevaisuudessa, mikäli KIHU siirtyy käyttämään jotakin toista liikeanalyysiohjelmistoa,

voidaan analyysisovellukseen ladata suoraa pelkkä BVH-tiedosto, jolloin 3D-mallinusta ei tarvita ollenkaan. Papervisionin kehittäjät ovat esittäneet teknisiä demoja luurangon luomisesta suoraan BVH-tiedostosta, mutta virallista tukea tekniikalle ei vielä ole.

Tulosten esitysohjelmistoa täytyy myös jalostaa oikeiden käyttötilanteiden määrittelyllä. Mikäli esitysohjelmistoa tullaan tulevaisuudessa käyttämään, käyttöliittymänä käytetään hiiren ja näppäimistön yhdistelmää. Rikastetun Todellisuuden versio saa jäädä vielä kypsymään ja odottamaan toimintavarmuuden kasvua.

6 POHDINTA

Rikastetulla Todellisuudella on todellakin mahdollisuus muuttaa elämämme, erityisesti mainonnan osalta. Mainontaa tekevät luovat ihmiset saavat Rikastetusta Todellisuudesta työkalun, joka avaa loputtomasti uusia mahdollisuuksia hämmästyttää, mutta luultavasti myös ärsyttää meitä. Lisäksi tiedonhaku muuttuu nopeammaksi, mikäli voimme vain katsoa kohdetta jolloin itseemme integroitu kamera tunnistaa kohteen ja kertoo siitä kaiken oleellisen. Tähän kaikkeen on vielä matkaa, sillä tekniikka ei ole vielä täysin kypsää.

Prosessointiteho ei vielä riitä luomaan uskottavia malleja, jotka reagoisivat todellisuuden reaaliajassa. Tehon puute näkyy erityisesti mobiililaitteissa, joissa eittämättä on Rikastetun Todellisuuden tulevaisuus. Onhan toki mahdollista, että rasakat prosessit suoritetaan palvelimella, jolloin päätelaitteen tehtäväksi jää ainoastaan sisällön esitys. Järjestelmien täytyy kehittyä varmatoimisiksi ja samalla myös enemmän itsetietoisiksi. Rikastettujen kohteiden täytyy osata sijoittautua maailmaamme siten, että ne huomioivat myös meidät; eräänä aamuna kadunkulmassa, jossa normaalisti on tyhjä paikka suurelle virtuaalimainokselle, voikin olla väärin pysäköity auto. Lisäksi Rikastetun Todellisuuden kohteiden täytyy tietää oma sijaintinsa syvyyssuunnassa siten, että käyttäjän näkökentässä lähempänä olevat

kohteet peittävät virtuaalikohteet, jotka ovat kauempana. Tehdäänkö tämä sitten erilaisin sensorein vai kehittyneillä videon analysointialgoritmeilla, jää nähtäväksi.

Joka tapauksessa tekniikan tulee olla toimivaa ja lisäksi yksinkertaista. Satojen grammojen kömpelöitä datalaseja tuskin tullaan käyttämään, mutta ehkä tekniikka liitetään normaaleihin silmä- tai aurinkolaseihin. Saattaahan toki olla, että nykyisten tai tulevien sukupolvien aikana transhumanismi on arkipäivää ja meillä kaikilla on mahdollisuus nähdä maailmamme sellaisena kuin itse haluamme. Tehokkaat tietokoneet voivat syöttää manipuloitua kuvavirtaa suoraan aivoihimme, kuka tietää vaikka käsittämämme todellisuus olisi tälläkin hetkellä vain ohjelmakoodin luomaa kuvitelmaa.

Lähitulevaisuuden läpimurtoon Rikastettu Todellisuus tarvitsee kuitenkin enemmän sisältöä kuin tekniikkaa. Tanssivat mainostytöt riittävät vain hetkeksi ja tekniikalta tullaan vaatimaan myös hyötyä jokapäiväiseen elämään. Kaikista näkemistäni visioista ja toteutetuista sovelluksista ainut oikeasti hyödyllinen sovellus, joka on muutakin kuin pelkkä mainoskikka, on Yhdysvaltain postin paketti-simulaattori, jonka avulla lähetettäviä esineitä voidaan verrata erikokoisiin paketteihin (USPS 2009).

Käyttöliittymät tulevat myös muuttumaan mikäli taiteilijat ja insinöörit yhdistävät voimansa, sillä Rikastettu Todellisuus on syntymästään asti keikkunut juuri tieteen ja taiteen rajalla. Tekniikka vetoaa tunteisiin ja kokemuksiin, mutta se haluaa vahvasti osallistua myös käytännön toimintaan. Toimivan käyttöliittymän rakentamiseen saadaan lisää rakennusosia, eikä painonappi ole enää ainut vakavasti otettava väline.

Rikastetulla Todellisuudella, kuten jokaisella tekniikalla on myös mahdolliset varjopuolensa. Tietokonenäön kehittyessä meidät kaikki voidaan tunnistaa kadulla ja halukkaat saavat meistä tietoa, myös sellaista mitä emme haluaisi muiden tietävän. Poliisien automaattiset kamerat huomaavat liikennevirrasta katsastamatto-

mat autot automaattisesti lukemalla autojen rekisterikilvet (Keskisuomalainen 2009). Samalla tavalla väkimassoista voidaan poimia rikolliset, mutta myös ne, jotka eivät ole vallanpitäjien kanssa asioista samaa mieltä. Informaatiotulva voi myös sokaista kadulla, jolloin onnettomuudet ovat väistämättömiä. Oman riskinsä voivat myös luoda virtuaaliset sovituskopit, jotka toimivat nykymallin mukaan suoraa nettiselaimessa. Ohjelman koodaajalla tai ylläpitäjällä tulee olla vahva itsehillintä, ettei syyllisty salakatseluun. Mikäli sovellukselle on annettu lupa käyttää käyttäjän web-kameran kuvaa, voidaan kuvaa myös nauhoittaa sovelluksen tarjoajan toimesta. Tuhansista käyttäjistä löytyy varmasti niitä, jotka eivät osaa varoa tai edes ajatella riskejä.

Lopuksi vielä kuvitteellisen BurglAR-ohjelman mukanaan tuomat mahdollisuudet murtomiehille; Asuntoosi ostetaan arvokas maljakko, josta tietysti kerrot kateellisille ystäville sosiaalisen median sovelluksessa. Asuntososi osoite löytyy verkon rekistereistä, josta myös rikollisten suosikkisovellus, BurglAR sen löytää. Osoitteeseen liitetään myös juuri hankkimasi maljakon tiedot ja kuuma tietopaketti lähetetään sovelluksen käyttäjille. Teknologisesti sivistynyt murtomies tarkastaa kompassia ja GPS-signaalia hyväksi käyttävän mobiililaitteensa ja vertailee lähistöllä olevat murronarvoiset kohteet. Sieltähän se sinunkin arvotavarasi löytyy Googlen-kuvahaun kuvien kera. Lisäksi sovellus kertoo sinun juuri lähteneen kauppaan, kiitos Facebook-profiilisi tilapäivityksen. (Madden 2010.)

LÄHTEET

Adidas Catalogue. 2010. Rikastetun Todellisuuden kengät. Viitattu 21.4.2010.
<http://www.adidas.com/originals/com/#/product/G13295>.

Adidas Originals. 2010. Herzogenaurach:Metaio. Lehdistötiedote. Julkaistu tammi-
 kuussa 2010. Viitattu 15.4.2010.
http://www.metaio.com/fileadmin/homepage/Presse/Dokumente/Pressemitteilunngen/English/PI_adidas_Originals_02_10.pdf.

Adobe. 2007. Adobe Systems Inc. Tietoa ActionScript Virtual Machinesta. Viitattu
 3.5.2010. <http://www.adobe.com/devnet/actionscript/articles/avm2overview.pdf>.

Adobe. 2008. Adobe Systems Inc. FLARToolkitin kääntämisen estävän bugin tekni-
 siä tietoja. Viitattu 14.4.2010. <http://bugs.adobe.com/jira/browse/ASC-3588>.

Adobe. 2010. Adobe Systems Inc. Flashplayerin käyttötilastot. Viitattu 14.4.2010.
http://www.adobe.com/products/player_census/flashplayer/version_penetration.html.

ALVAR. 2009. VTT. Yleistä tietoa ALVAR-ohjelmakirjastosta. Viitattu 23.4.2010.
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar.html>.

APAS User's Manual. San Diego: Ariel Life Systems Inc.

APAS. 2009. Ariel Dynamics. Yleistä tietoa APAS-ohjelmiston kehittäjistä. Viitattu
 17.3.2010. <http://www.arielnet.com/start/about.html>.

ARToolworks. 2007a. Yleistä tietoa ARToolkitin kehittäjästä. Viitattu 2.5.2010.
<http://www.artoolworks.com/Home.html>.

ARToolworks. 2007b. Valaistuksen vaikutukset seuranta tarkkuuteen. Viitattu
 2.5.2010. http://www.artoolworks.com/support/library/How_ARToolKit_works.

Attractions magazine. 2009. Rikastettua Todellisuutta Orlandon Lego-kaupassa.
 Viitattu 12.2.2010. <http://attractionsmagazine.com/blog/2009/03/27/cool-3d-animated-digital-box-at-the-lego-store>.

Azuma, R.T. 1997. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and
 Virtual Environments 6, 4, 355-385.

Barakonyi, I. 2006. Ubiquitous Animated Agents for Augmented Reality. Väitöskir-
 ja. Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology.

Bernatchez, M. 2007. Virtual Reality Resources. HMD-laitteiden vertailu. Viitattu
 17.2.2010. http://vresources.org/HMD_rezanalysis.html.

Billy 30 år. 2009. IKEA. Billy-hyllykön 30-vuotisjuhla sivusto. Viitattu 10.3.2010.
<http://www.billy30.se>.

Bimber , O., Raskar, R. 2005. Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds. A K Peters, Ltd.

BMW. 2009. Tietoja BMW-autovalmistajan käyttämästä RT-tekniikasta. Viitattu 10.3.2010. http://www.bmw.co.uk/bmwuk/augmented_reality/homepage.

Bonney, S. 2005. Inside 3ds max 7. New Riders Press.

Brooks, F. 1999. What's Real About Virtual Reality? IEEE Computer Graphics and Applications 19, 6, 16-27.

C3D. 2010. Yleistä tietoa C3D-formaatista. Viitattu 18.3.2010.
<http://www.c3d.org/introduction.html>.

Cawood, S., Fiala, M. 2008. Augmented Reality: A Practical Guide. Pragmatic Bookshelf.

Character Studio. Yleistä tietoa CSM-formaatista. Viitattu 12.11.2009.

Chen, B. 2009. Wired. Tietoa Augmented Reality-termin keksijästä. Viitattu 3.5.2010. <http://www.wired.com/gadgetlab/2009/08/augmented-reality>.

Collada. 2008. Khronos Group. Collada-formaatin tietosivusto. Viitattu 11.3.2010.
<http://www.khronos.org/collada>.

Dibitassut. 2010. VTT. Uutinen Dibitassujen RT-sovelluksesta. Viitattu 6.4.2010.
<http://www.vtt.fi/news/2010/03252010.jsp>.

Ebert, J. 2010. Apparat. ActionScriptin optimointityökalu. Viitattu 13.11.2009.
<http://code.google.com/p/apparat>.

Esquire. 2009. Esquire-lehden RT-numeron sivusto. Viitattu 24.11.2010.
<http://www.esquire.com/the-side/augmented-reality>.

Fischer, J., Bartz, D. 2005. Stylized Augmented Reality for Improved Immersion. Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality 195-202.

FLARToolKit userz. 2010a. Keskustelua FLARToolKitin lisenssi ongelmista. Viitattu 12.4.2010. http://groups.google.com/group/flartoolkit-userz/browse_thread/thread/9c2162652c7015b0.

FLARToolKit userz. 2010b. Keskusteluryhmän mielipiteitä markkerien luonnista. Viitattu 12.2.2010. http://groups.google.com/group/flartoolkit-userz/browse_thread/thread/7bf473ddcb35c6e9.

Gartner Inc. 2008. Tekniikoiden kiinnostavuus Gartner-tutkimusyhtiön mukaan. Viitattu 13.1.2010. <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=681107>.

General Electric. 2009. GE:n uudistuvia energialähteitä esittelevä RT-sovellus. Viitattu 24.11.2010. <http://ge.ecomagination.com/smartgrid/popsi>.

Google Googles. 2010. Google Inc. Kuvaa analysoiva hakupalvelu-sovellus. Viitattu 12.4.2010. <http://www.google.com/mobile/goggles>.

Grau, O. 2007. Tietoa Heilingin kehittämästä Sensoramasta. Viitattu 12.4.2010. <http://www.unites.uqam.ca/AHWA/Meetings/2000.CIHA/Grau.html>.

Hall, B. 2008. Automata studios. Perehdytys Adobe Alchemy-tekniikkaan. Viitattu 1.5.2010. <http://www.automatastudios.com/2008/11/21/understanding-adobe-alchemy>.

HIT Lab. 2007a. Human Interface Technology Laboratory. Yleistä tietoa ARToolkit-ohjelmistosta. Viitattu 2.3.2010. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit>.

HIT Lab. 2007b. Human Interface Technology Laboratory. ARToolkitin lisenssiehdot. Viitattu 2.3.2010. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/license.html>.

HIT Lab. 2007c. Human Interface Technology Laboratory. Tietoa ARToolkit-ohjelmiston virheherkkyydestä. Viitattu 2.3.2010. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/benchmark.htm>.

ISMAR. 2010. PEOPLE-X Inc. Tietoa ISMAR-konferenssista. Viitattu 3.5.2010. http://www.ismar10.org/index.php/Main_Page.

Juan, M.C., Botella, C., Alcañiz, M., Baños, R., Carrion, C., Melero, M., Lozano, J.A. 2004. An augmented reality system for treating psychological disorders: application to phobia to cockroaches. Proceedings of the Third IEEE and ACM international Symposium on Mixed and Augmented Reality 256-257.

Kato, H. 2006. Inside ARToolKit, Kato kertoo ARToolkitin toiminasta. Viitattu 5.5.2010. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/Papers/ART02-Tutorial.pdf>.

Keskisuomalainen. 2009. Verkkolehti uutinen poliisien konesilmästä. Viitattu 29.1.2010. <http://www.ksml.fi/uutiset/kotimaa/poliisin-konesilm%C3%A4-havaitsee-katsastamattomat-autot/464347>.

Klein, G., Murray, D. 2007. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 1-10.

Koyama, T. 2009. FLARToolkitin esittely. Viitattu 2.3.2010.
<http://saqoosha.net/lab/FLARToolKit/Introduction-to-FLARToolKit.pdf>.

Layar. 2010. Yleistä tietoa Layar-todellisuusselaimesta. Viitattu 8.3.2010.
<http://www.layar.com>.

Lindquist, J. 2010. Papervision3D. Yleistä tietoa Papervisionista. Viitattu 13.4.2010.
http://code.google.com/p/papervision3d/wiki/Getting_Started_FAQ.

Madden, L. 2010. Augmented Planet. Rikastetun Todellisuuden varjopuolia. Viitattu 29.1.2010. <http://www.augmentedplanet.com/2010/01/the-case-against-augmented-reality>.

Metaio GmbH. 2010. Yleistä tietoa Unifeye-teknologiasta. Viitattu 2.5.2010.
<http://www.metaio.com/products/unifeye>.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Telemanipulator and Telepresence Technologies: Proceedings of the SPIE 2351, 282-292.

Mini Cooper. 2008. Mini Cooper auton RT-esite. Viitattu 10.3.2010.
<http://www.mini.de/de/de/webcam/index.jsp>.

Mistry, P, Maes, P. 2009. Rikastettua Todellisuutta projektion avulla luovan prototyypilaitteen esittely sivusto. Viitattu 12.4.2010.
<http://www.pranavmistry.com/projects/sixthsense>.

Murdock, K. 2005. 3ds Max 8 Bible. Indianapolis: Wiley Publishing Inc.

Newman, J. 2008. Ubiquitous Tracking for Distributed Mixed Reality Environments. Väitöskirja. Institute for Computer Graphics and Vision, Graz University of Technology.

OpenCollada. 2009. NetAllied Systems GmbH. Collada-exportterin projektisivusto. Viitattu 6.11.2009. <http://opencollada.org>.

Platonov, J., Heibel, H., Meier, P., Grollmann, B. 2006. A mobile markerless AR system for maintenance and repair. Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 105-108.

Rantanen, K. 2009. Tehdas kuin tietokonepeli. Tiede 29, 1, 14-15.

Ray-Ban. 2010. Luxottica Group. Ray-Ban aurinkolasien kokeilusovellus. Viitattu 10.3.2010. <http://www.ray-ban.com/usa/neverhide/events/virtualmirror>.

Reiling, J. 2009. Ohjeita markkerin luontiin. Viitattu 19.11.2009. <http://www.squidder.com/2009/03/05/for-nerds-only-custom-flar-markers-explained>.

Reitmayr, G. 2004. On Software Design for Augmented Reality. Väitöskirja. Vienna University of Technology.

Rekimoto, J. 1998. Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality. Proceedings of the Third Asian Pacific Computer and Human Interaction 63-69.

Rekimoto, J. 2006. 2D-viivakoodin käyttö Rikastetussa Todellisuudessa. Viitattu 2.3.2010. <http://ftp.csl.sony.co.jp/person/rekimoto/matrix/Matrix.html>.

Robotvision. 2009. Yleistä tietoa Robotvision-todellisuusselaimesta. Viitattu 8.3.2010. <http://robotvision-ar.com>.

Roetenberg, D. 2006. Xsens. Tietoa motion capture-tekniikasta. Viitattu 17.3.2010. <http://www.xsens.com/en/company-pages/company/human-mocap>.

Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., Szalavári, Z., Encarnação, L. M., Gervautz, M., Purgathofer, W. 2002. The studierstube augmented reality project. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 11, 1, 33-54.

Socolofsky, E. 2009a. InsiderIA. FLARManager-ohjelman esittely. Viitattu 9.11.2009. <http://www.insideria.com/2009/07/flartoolkit-and-flarmanager.html>.

Socolofsky, E. 2009b. FLARManager. FLARManagerin asetusattribuuttien selitykset. Viitattu 9.11.2009. <http://words.transmote.com/wp/flarmanager/flarmanager-documentation>.

Sutherland, I. 1965. The ultimate display. Proceedings of IFIP Congress 1965 506-508.

Sääski, J., Salonen, T., Hakkarainen, M., Siltanen, S., Woodward, C., Lempiäinen, J. 2008. Integration of design and assembly using augmented reality. Fourth International Precision Assembly Seminar.

TaroTaro. 2009. Matriisimarkkerien luomiseen tarkoitettu online-sovellus. Viitattu 25.11.2009. <http://flash.tarotaro.org/blog/2009/07/12/mgo2>.

Tate, S. 1996. Historia tietoa Rikastetusta Todellisuudesta. Viitattu 3.3.2010. <http://ei.cs.vt.edu/~history/Tate.VR.html>.

Telvis. 2010. Aller Media Oy. Uutinen Dibitassujen RT-sovelluksesta. Viitattu 6.4.2010.
http://www.telvis.fi/3d/_a109918/first+in+finland+augmented+reality+in++magazines.

Thingvold, J. 1999. University of Wisconsin. Kurssimateriaaleja motion capture tekniikasta. Viitattu 18.3.2010. <http://www.cs.wisc.edu/graphics/Courses/cs-838-1999/Jeff/BVH.html>.

ThinkAnApp. 2010. Virtuaalinen tatuointi. Viitattu 2.3.2010.
<http://www.thinkanapp.com/portfolio>.

Total Immersion. 2010. Yleistä tietoa D’Fusion-teknologiasta. Viitattu 2.5.2010.
<http://www.t-immersion.com/en,solution-presentation,559.html>.

USPS. 2009. Online-sovellus, jolla voidaan mitata tarvittavan lähetyslaatikon koko. Viitattu 29.1.2010. <https://www.prioritymail.com/simulator.asp>.
 Wikipedia. 2010a. Yleistä tietoa SLAM-tekniikasta. Viitattu 3.5.2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_localization_and_mapping.

Wikipedia. 2010b. Yleistä tietoa 3ds Max-mallinnusohjelmasta. Viitattu 17.3.2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/3ds_Max.

Wikipedia. 2010c. Yleistä tietoa ActionScriptistä. Viitattu 14.4.2010.
<http://en.wikipedia.org/wiki/ActionScript>.

Wikipedia. 2010d. Yleistä tietoa Adobe Flash Builderista. Viitattu 14.4.2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/Adobe_Flex_Builder.

Wikitude. 2009. Mobilizy GmbH. RT-navigaattorin info-sivusto. Viitattu 8.3.2010.
<http://www.wikitude.org/drive-2>.

Wikitude. 2010. Mobilizy GmbH. Yleistä tietoa Wikitude-todellisuusselaimesta. Viitattu 8.3.2010. http://www.wikitude.org/category/02_wikitude/world-browser.

Zugara. 2009. Virtuaalinen sovituskoppi. Viitattu 10.3.2010.
<http://weareorganizedchaos.com/index.php/2009/06/23/zugara-launches-online-shopping-app-utilizing-augmented-reality-and-motion-capture>.

LIITTEET

Liite 1. Toteutetun sovelluksen asetukset

```
<flar_config>
  <flarSourceSettings
    sourceWidth="320"
    sourceHeight="240"
    displayWidth="800"
    displayHeight="600"
    framerate="30"
    downsampleRatio="1" />
  <flarManagerSettings
    mirrorDisplay="true"
    markerUpdateThreshold="80"
    smoothing="3" />
  <cameraParamsFile path="FLARCameraParams.dat" />
  <patterns
    resolution="4"
    patternToBorderRatio="0.5"
    minConfidence="0.5">
    <pattern path="marker1.pat" />
  </patterns>
</flar_config>
```

Liite 2. Arviointilomake

Osa-alue	Pisteet 1-5 (1 = EI, 3 = EHKÄ, 5 = KYLLÄ)		Osa-alueen selite
	HN	RT	
käytettävyys			Onko sovelluksen käyttö helppoa?
näytettävyys			Onko sovellus visuaalisesti näyttävä?
toimintavarmuus			Toimiiko sovellus odotetulla tavalla?
mielenkiintoisuus			Haluatko käyttää sovellusta uudelleen?
tuloksellisuus			Antaako sovellus lisäarvoa liikeanalyyysiin?
muistettavuus			Opitko sovelluksen hallinnan helposti ja nopeasti?
hallittavuus			Toimiiko ohjaus tahtomallasi tavalla?

Liite 3. Pistejakauma

